

Applications & Cases



Abstimmbare Anpassnetzwerke

Oktober 2008

Fein abgestimmt

Bei der Entwicklung neuer Mobiltelefone gilt die Vorgabe, immer mehr Frequenzbänder und Betriebsmodi zu integrieren und dabei den Leistungsverbrauch zu minimieren. Nur so wird es möglich, mit einem Mobiltelefon weltweit alle Standards abzudecken. 2008 waren elf Frequenzbänder für W-CDMA-Systeme im Einsatz, fünf davon werden auch für GSM genutzt (Tabelle 1).

TABELLE 1: DERZEIT FÜR DEN MOBILFUNK GENUTZTE FREQUENZBÄNDER

Band	Sendefrequenz [MHz]	Empfangsfrequenz [MHz]	Trennung zwischen Sende- und Empfangsfrequenz [MHz]
I	1920 – 1980	2110 – 2170	190
II	1850 – 1910	1930 – 1990	80
III	1710 – 1785	1805 – 1880	95
IV	1710 – 1755	2110 – 2155	400
V	824 – 849	869 – 894	45
VI	830 – 840	875 – 885	45
VII	2500 – 2570	2620 – 2690	120
VIII	880 – 915	925 – 960	45
IX	1749,9 – 1784,9	1844,9 – 1879,9	95
X	1710 – 1770	2110 – 2170	400
XI	1427,9 – 1452,9	1475,9 – 1500,9	48

Stand 08/2008

Die aufgelisteten Frequenzbänder werden in den unterschiedlichen Regionen Europas, Asiens und der USA genutzt. Die Kombination der Bänder erlaubt den Einsatz eines Mobiltelefons in allen Regionen.

Das Zusammenspiel der Bänder und Betriebsmodi erfordert komplexe RF-Frontends, da jedes Frequenzband eine individuelle Hardware benötigt. Dadurch steigen die Zahl der erforderlichen Bauelemente sowie der Platzbedarf auf der Leiterplatte. Auch die Verlustleistung des RF-Frontends nimmt zu.

Gleichzeitig werden die Mobiltelefone mit immer mehr Zusatzfunktionen wie Kamera, MP3-Player, Radio und TV-Tuner ausgestattet. Da die Designs der Mobilfunkgeräte auf immer weitere Miniaturisierung ausgerichtet sind, müssen auch die in die Telefone integrierten Antennen immer kleiner werden.

Telefonnutzer verstimmt Antenne

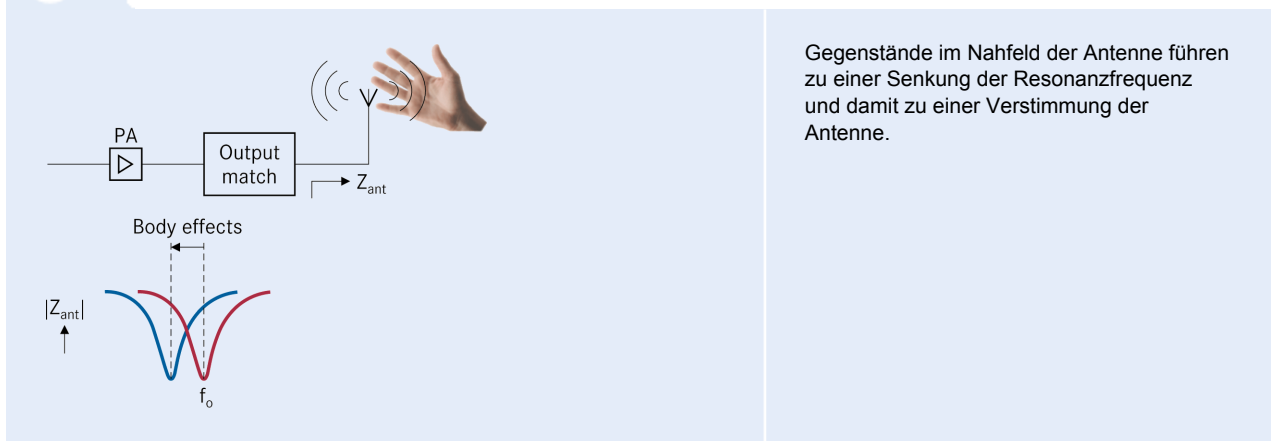
Derzeit werden dafür hauptsächlich Planarantennen verwendet, die als Serienresonanzschaltung funktionieren. Der Nachteil dieser Antennen besteht darin, dass ihr Nahfeld sehr empfindlich auf äußere Einflüsse wie die Wechselwirkung mit dem Telefonbenutzer reagiert. Die Folge sind erhebliche Änderungen der Antennenimpedanz, die starke Auswirkungen auf die Sende- und Empfangsqualität haben. Unterschiedliche Ausführungen der Telefone wie Flip- oder Slider-Phone, bewegliche Tastaturen und Displays gestalten die Abstrahlungsperformance noch komplizierter. Der Grund dafür: Die veränderten Masselasten beeinflussen die Impedanz der Antenne ebenfalls.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für das Verhalten der Antennen-Eingangsimpedanz durch eine Wechselwirkung mit dem Nutzer. Dessen Hand im Strahlungsfeld der Antenne bewirkt die Senkung der Resonanzfrequenz der Antenne; die Antenne ist verstimmt.

Applications & Cases



ABBILDUNG 1: AUSWIRKUNG DES BODY-EFFEKTS AUF EINE ANTENNE



Moderne Antennen werden daher mit solchen Eingangsimpedanzen entwickelt, dass sie selbst unter den schlechtesten Bedingungen ein Stehwellenverhältnis (VSWR) von maximal 3,5:1 aufweisen. Das entspricht einem Verlust von etwa 1,6 dB oder 30 Prozent reflektierter Leistung an der Antenne. Berücksichtigt man auch noch die größere Zahl von Duplexern und die entsprechenden Schalter, ergeben sich im gesamten Frontend einschließlich Antenne Verlustleistungen, die die Stand-by-Zeit der Batterie deutlich senken.

Feste und abstimmbare Anpassungsnetzwerke

Die bisher verwendeten festen Anpassungsnetzwerke (Fixed Matching Networks) zwischen RF-Frontend und Antenne ermöglichen lediglich die Anpassung von genau definierten Antennenimpedanzen. Sie dienen auch dazu, kleine Veränderungen der Antennenimpedanz zu kompensieren.

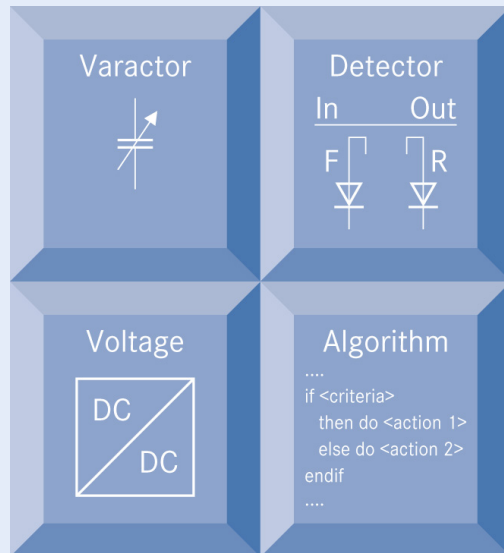
Große Impedanzänderungen, wie beispielsweise die Veränderungen des Wirkwiderstands der Impedanz einer Antenne um den Faktor vier oder die Anhebung des Blindwiderstands von 3Ω auf bis zu 50Ω können mit einer Festanpassung nicht kompensiert werden.

Abstimmbare Anpassungsnetzwerke schaffen hier Abhilfe. Sie bieten den entscheidenden Vorteil, dass sich ihr Impedanzverhalten verändern lässt. Implementiert man zusätzlich eine Rückkopplungsregelung, kann das gesamte System adaptiv auf alle Impedanzänderungen der Antenne reagieren. Eine derartige adaptive Abgleichereinheit besteht aus vier Funktionseinheiten (Abbildung 2).

Applications & Cases



ABBILDUNG 2: FUNKTIONSEINHEITEN EINES ADAPTIVEN ANPASSUNGSNETZWERKS



Adaptive Anpassungsnetzwerke ermöglichen eine kontinuierliche Korrektur der Antennenimpedanz.

Das Funktionsprinzip: Der Detektor misst zunächst das übertragene RF-Signal. Aus diesem Wert berechnet ein Algorithmus in Echtzeit, ob und welche Veränderungen in der adaptiven Anpassungsschaltung der Antenne nötig sind, und gibt diese Information an einen DC/DC-Controller weiter. Dieser Treiber stellt die erforderlichen Spannungen am Aktuator (Varactor) ein und erzwingt die Veränderung der Impedanzanpassung, die durch das Variieren der Kapazität des Varactors erfolgt. Dieser Vorgang wird schrittweise wiederholt, bis die gewünschte Impedanz von beispielsweise 50 Ω erreicht ist. Alle vier für den Prozess nötigen Funktionseinheiten lassen sich in einem RF-Modul integrieren.

Die derzeit verwendeten Varactoren basieren auf vier unterschiedlichen Technologien: BST, CMOS, Varactoren auf Halbleiterbasis und RF-MEMS.

Vorteile der RF-MEMS-Technologie

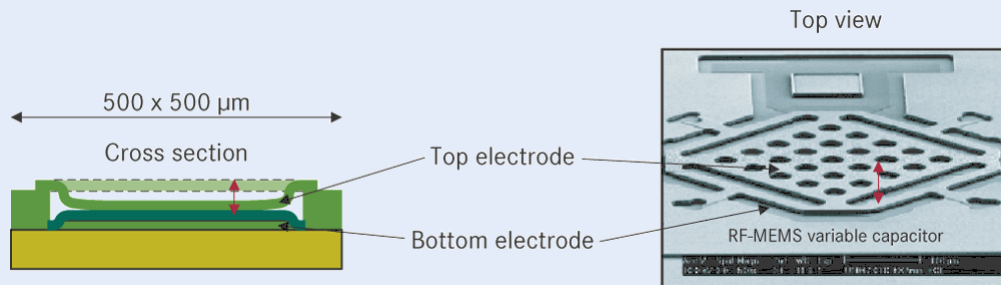
Im Vergleich zu konkurrierenden Varactor-Technologien bieten RF-MEMS viele Vorteile; bedeutend sind vor allem Linearität und Leistungsbeständigkeit. Darüber hinaus bieten RF-MEMS einen größeren Abstimmbereich, sodass diese Technologie in einer Vielzahl von Anwendungen universeller einsetzbar ist.

EPCOS verwendet einen elektrostatisch veränderbaren kapazitiven RF-MEMS-Schalter (siehe Abbildung 3). Durch Anlegen einer Gleichspannung schaltet eine bewegliche Platte – die Top-Elektrode – zwischen den Zuständen „geöffnet“ und „geschlossen“ um. Im geschlossenen Zustand berührt die Top-Elektrode eine dielektrische Schicht. In Kombination mit einer Bodenelektrode (Bottom-Elektrode) sorgt dies für eine Kapazität von einigen Piko-Farad. Im geöffneten Zustand ist die Kapazität mit einigen wenigen Femto-Farad dagegen sehr klein. Der RF-MEMS-Schalter sorgt also für ein Umschalten zwischen den beiden Zuständen „große Kapazität“ und „kleine Kapazität“. Die Beziehung zwischen beiden Zuständen trägt die Bezeichnung Ein-/Ausschalt-Verhältnis (On-/Off-Ratio).

Applications & Cases



ABBILDUNG 3: FUNKTIONSWEISE EINES RF-MEMS

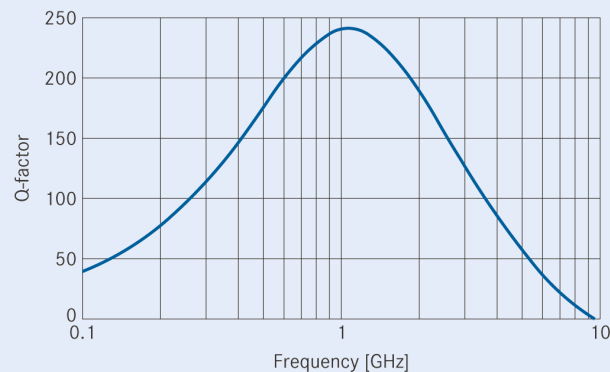


Der Abstand zwischen Top- und Bottom-Elektrode ist variabel einstellbar; dadurch kann man die Kapazität und somit die Impedanz beeinflussen.

Die Güte Q eines einzelnen kapazitiven RF-MEMS-Schalters liegt im Fall von 1 GHz bei bis zu 250 (Abbildung 4). Dieser Wert übertrifft die Ergebnisse anderer Technologien um den Faktor drei bis fünf.



ABBILDUNG 4: Q-VERLAUF EINES RF-MEMS



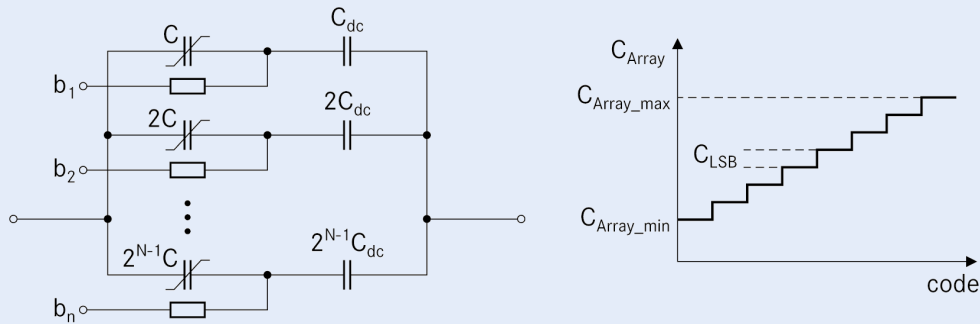
Mit einem Wert von bis zu 250 ist die Güte eines RF-MEMS um den Faktor drei bis fünf besser als bei vergleichbaren Technologien.

Zur Realisierung eines schaltbaren Kapazitäts-Arrays werden mehrere Schalter parallel zueinander verbunden (siehe Abbildung 5). Der Schaltvorgang ist in der Regel binär kodiert. Der Einsatz von fünf Schaltern macht 32 unterschiedliche Kapazitätswerte möglich.

Da das Ein-/Ausschalt-Verhältnis des einzelnen MEMS-Elements groß ist, lassen sich auch große Abstimmverhältnisse erzielen.

Applications & Cases

ABBILDUNG 5: PRINZIP VON RF-MEMS-ARRAYS



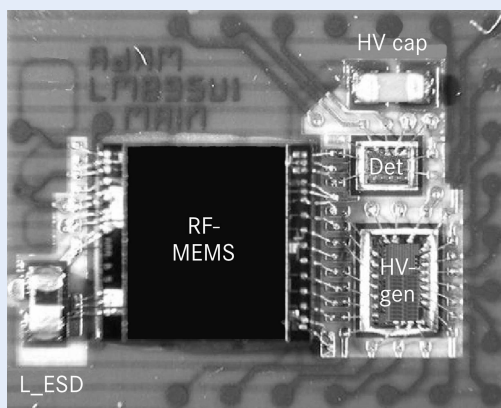
Durch binär kodierte Parallelschaltung werden die erforderlichen Kapazitätswerte eingestellt.

Das Gesamtstimmverhältnis beträgt etwa 10:1. Ein derartig hoher Wert lässt sich mit BST (Barium-Strontium-Titanat) oder Varactoren auf Halbleiterbasis – beispielsweise mit Bauelementen, die hyperabrupt dotiert sind, – nicht erzielen.

Erster Prototyp erfolgreich getestet

Mithilfe eines Demonstrators wurde die Funktionalität der adaptiven Anpassungsschaltung für die Antenne untersucht (Abbildung 6). Dieser besteht aus den in Abbildung 2 dargestellten Funktionseinheiten, die in einem Modul integriert wurden.

ABBILDUNG 6: RF-MEMS-DEMONSTRATOR



Das komplette adaptive Anpassungsnetzwerk wurde in einem Modul realisiert.

Ein einfaches, in Reihe geschaltetes LC-Anpassungsnetzwerk kompensiert den imaginären Anteil der Variationen in der Antennenimpedanz. Dafür wird ein binär gewichtetes 5-Bit-RF-MEMS-Array verwendet. Ein Hochspannungstreiber erzeugt die MEMS-Vorspannungen; die Informationen über Fehlabweichungen werden aus der Phase der angepassten Eingangsimpedanz ermittelt. Eine Rückkopplungsschleife regelt die angepasste Eingangsimpedanz auf den gewünschten Wert. Im Beispiel wurde der Steuerungsalgorithmus per Hardware realisiert; will man die Flexibilität erhöhen, lässt sich der Algorithmus in einem Mikrocontroller programmieren.

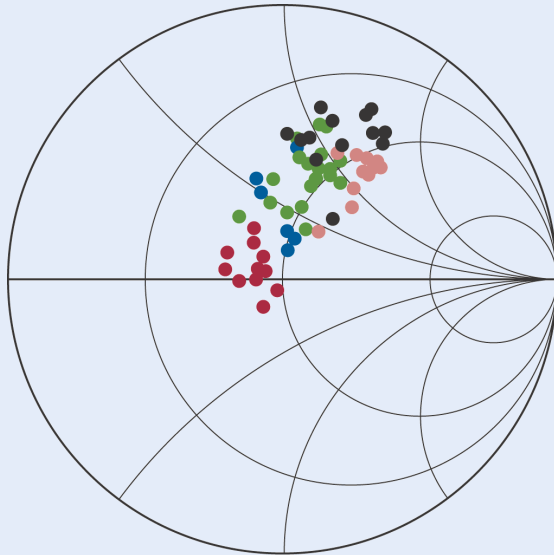
Abbildung 7 zeigt die gemessenen Veränderungen einer PIFA (Planar-Inverted F-Antenna), die durch den Anwender

Applications & Cases

hervorgerufen wurden.



ABBILDUNG 7: IMPEDANZÄNDERUNGEN DER ANTENNE



- Hand nicht an der Antenne
- Daumen oder Finger an der Seite der Antenne
- Daumen und Finger an der Seite der Antenne
- Hand und/oder Finger auf der Antenne
- Hand und/oder Finger über der Oberseite der Antenne

Unterschiedliche Interaktionen des Anwenders verursachen vom Idealzustand abweichende Impedanzwerte der Antenne.

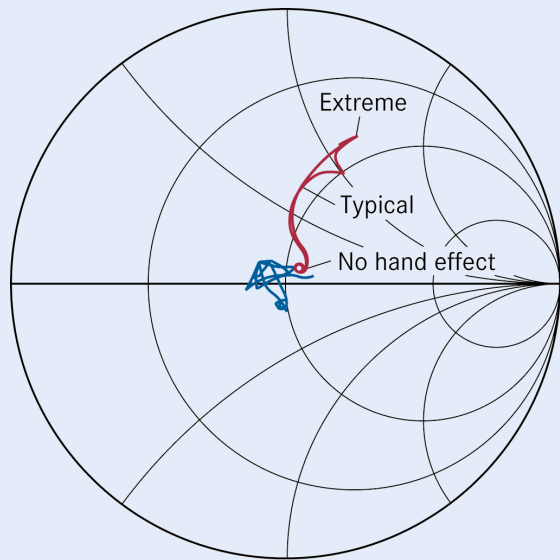
Die Auswahl einer geeigneten Antenne erlaubt es, ausschließlich den imaginären Teil (Reaktanz) der Eingangsimpedanz zu verändern – dadurch bleibt der Realteil (Ohmscher Anteil) annähernd konstant. Die Antenne erhält durch die Interaktionen der Anwender eine induktivere Charakteristik, sodass sich die Resonanzfrequenz verändert. Ein in Reihe geschaltetes kapazitives RF-MEMS-Array mit einem Abstimmverhältnis von ungefähr 10:1 kann das stark induktive Verhalten kompensieren und so die Antennenimpedanz korrigieren.

Abbildung 8 zeigt die korrigierte Antennenimpedanz (blau). Ohne adaptive Antennenanpassung wäre die Impedanz stark induktiv (rot). In Abbildung 8 bewegt sich die Impedanz der nicht angepassten Antenne zwischen 50Ω und $50 \cdot (1+j) \Omega$, was einem VSWR-Wert von 1:1 beziehungsweise 2,6:1 entspricht. Bei einem VSWR-Wert von 2,6:1 werden bereits 20 Prozent der Leistung reflektiert und in Wärme umgewandelt. Diese Verlustleistung verkürzt die Lebensdauer der Batterie erheblich.

Applications & Cases



ABBILDUNG 8: IMPEDANZANPASSUNG MIT RF-MEMS



— Betrieb ohne adaptives Anpassnetzwerk
 — Betrieb mit RF-MEMS-basiertem Anpassnetzwerk

Durch den Einsatz von abstimmbaren Anpassnetzwerken bleibt die Impedanz der Antenne im optimalen Bereich (blaue Linie).

Die Nutzung einer adaptiven Antennen-Anpassungseinheit gleicht das VSWR auf Werte von ungefähr 1,2:1 ab, das entspricht einer reflektierten Leistung von rund einem Prozent.

Tabelle 2 zeigt die Zusammenfassung der gemessenen Performance. Die Gesamtleistungsaufnahme des adaptiven Tuners beträgt derzeit circa 4,4 mW, lässt sich künftig aber auf Werte von unter 1 mW verringern.

TABELLE 2: PERFORMANCE DES REALISIERTEN RF-MEMS-MODULS

Parameter	Realisierter Wert
Verlustleistungsaufnahme	4,4 mW
Einfügedämpfung	0,5 dB
Oberwellen/Harmonische (H2, H3)	<91 dBc
Intermodulation (IM3)	<117 dBm
Störstrahlung (Spurious)	<-87,5 dBm
Schaltdauer im Betrieb (Hot-Switching)	>75 * 10 ⁶ Zyklen
Cold-Switching (GSM)	>3 Milliarden Zyklen

Der nächste Schritt ist das Design einer Plattform für zukünftige Antennen-Anpassungsmodule. Diese Plattform wird in ihrem ersten Aufbau von einem Mikrocontroller gesteuert werden. Dadurch ist gewährleistet, dass das adaptive Antennen-Anpassungsmodul in einem Standardmobiltelefon eigenständig funktioniert und arbeitet. Das Abstimmungsnetzwerk wird komplexer sein, um so einen größeren Abstimmbereich zu erzielen und eine größere Anzahl unterschiedlicher Antennentypen bedienen zu können. Darüber hinaus werden die Verlustleistung sowie der Platzbedarf minimiert.

Autoren:

Dr. Edgar Schmidhammer, Vice President R&D, SAW Mobile Communication
 Maurice de Jongh, Senior Scientist, Product Development, SAW Mobile Communication

Applications & Cases
