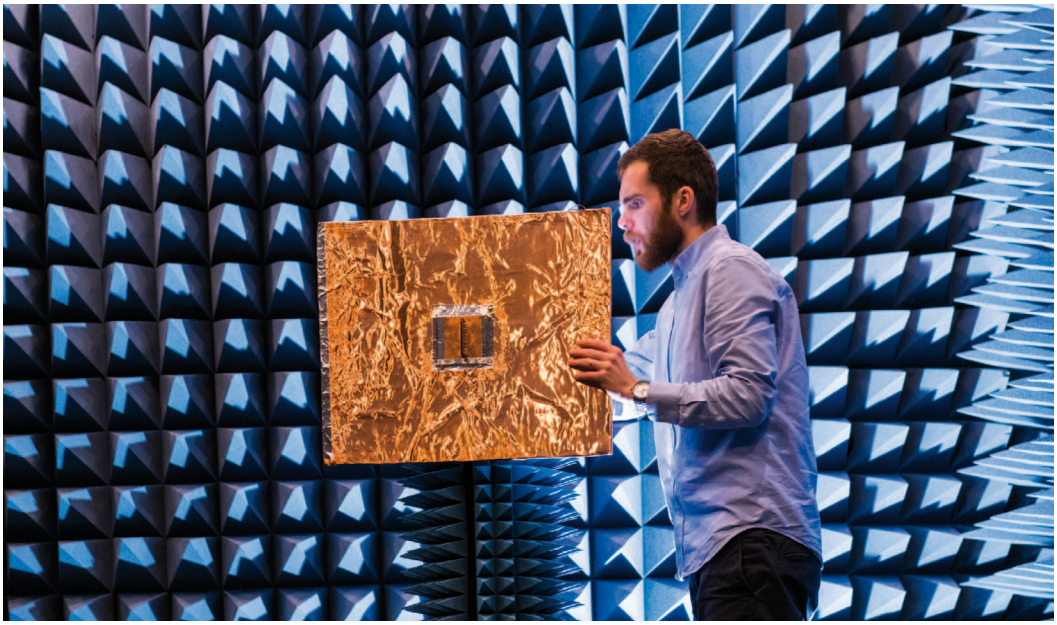
Rekonfigurierbare Antennen



Bildquelle: Karlsruher Institut für Technologie, Allgemeine Services – Crossmedia

Rekonfigurierbar nennt man Antennen, deren Parameter – insbesondere Frequenzbereich und Richtverhalten – sich per Software verändern lassen.

Solche Antennen werden in Zukunft, etwa in 5G-Mobilfunkgeräten oder selbstfahrenden Autos, eine größere Rolle spielen. Sie treten dort an die Stelle von heutigen umschaltbaren Mehrantennensystemen.

Eine aktuelle rekonfigurierbare Antenne ist eine software-definierte Antenne, funktioniert also im Prinzip wie ein software-definiertes Empfangs- oder Sende- und Empfangsgerät (SDR, Softwae Defined Radio). SDR-Technik hat sich z.B. als Breitbandempfänger in Stick-Form etabliert. Bei rekonfigurierbaren Antennen setzt man z.B. auch auf eine aus Pixeln bestehende Metallbeschichtung, mit deren Hilfe sich Patch-Antennen in bestimmter Weise verbinden und konfigurieren lassen. Es kommen elektromechanische Schalter (bevorzugt bei Sendeantennen) oder vollelektronische Schalter direkt in oder an der Antennenstruktur zur Anwendung, oder man setzt auf Antennen als Flüssigmetall, deren Länge man kontinuierlich mit einer Gleichspannung steuern kann.

Steuerparameter

Die wichtigsten Steuerparameter sind Anpassung, Resonanzfrequenz und Richtverhalten. Dabei gibt es gegenseitige Abhängigkeiten. So zieht eine Änderung der Resonanzfrequenz eine Korrektur der Anpassung nach sich.

Die Änderung der Steuerparameter erfolgt in der Regel mit einem digital abstimmbaren Kondensator (vorstellbar als schaltbare Kondensatorbank) in UltraCMOS-Technologie, eine Silizium-auf-Saphir-Technologie, die einen breiten Frequenzbereich mit sehr niedrigen On-Widerständen und hoher Isolation bei hervorragender Linearität ermöglicht. Man hat hier als Schlüsselparameter das Produkt aus Ron und Coff definiert. Es soll möglichst klein sein. Die neuste Technologie 0,25 µm CMOS on Sapphire ermöglicht weniger als 200 Femtosekunden.

• Anpassung

Eine steuerbare Anpassung der Antenne auf jeder möglichen Betriebsfrequenz gelingt z.B. durch einen LC-Kreis mit einem digital abstimmbaren Kondensator. Bei der Konfiguration der Anpassung ist es besonders wichtig, dass die hinzugefügten Komponenten nur geringe Verluste aufweisen, um den Wirkungsgrad der Antennen möglicht wenig zu vermindern. Dieses Problem ist hier deshalb so kritisch, da die Impedanzanpassung für gewöhnlich an einem Punkt erfolgt, wo der Strahlungswiderstand minimal ist („Strombauch“, liegt beispielsweise bei einem Halbwellendipol genau in der Mitte).

• Resonanzfrequenz

Die Antennenresonanz ist bekanntlich von der Länge der Antenne abhängig. Die elektrisch wirksame Länge kann jedoch durch eine Aperturabstimmung verändert werden. Auch hier kommt ein digital abstimmbarer Kondensator zur Anwendung, der an einem ausgewählten Punkt in die Antenne eingebunden ist. Somit wird Kapazität eingebracht oder herausgenommen, die Resonanz verschiebt sich entsprechend. Eine andere Möglichkeit der Resonanzveränderung ermöglicht ein elektronischer Kurzschlussschalter, optimal in Form eines UltraCMOS-Halbleiterschalters. Damit werden Längenabschnitte auf der Antenne überbrückt bzw. freigegeben, sodass sich die wirksame Antennenlänge verändert. Das Problem der Verluste in den hinzugefügten Komponenten ist hier weniger kritisch als bei der Impedanzanpassung, da die Kondensatoren und Schalter an mittelohmigen Punkten (zwischen „Strombauch“ und „Spannungsbauch“) angeordnet sind. Dennoch ist der Einfluss beachtlich, wie Bild 1 illustriert.

• Richtverhalten

Das Konzept der rekonfigurierbaren Antenne schließt die Beeinflussung der Abstrahlcharakteristik in Form und Richtung ein, und auch dabei erweisen sich die UltraCMOS-Halbleiterschalter als gute Helfer zur Konfiguration und Einspeisung phasenveränderter Signale in Mehrelementantennen. Die Verluste in den Schaltern sind dabei kritisch bis weniger kritisch, je nach Einfügeort.

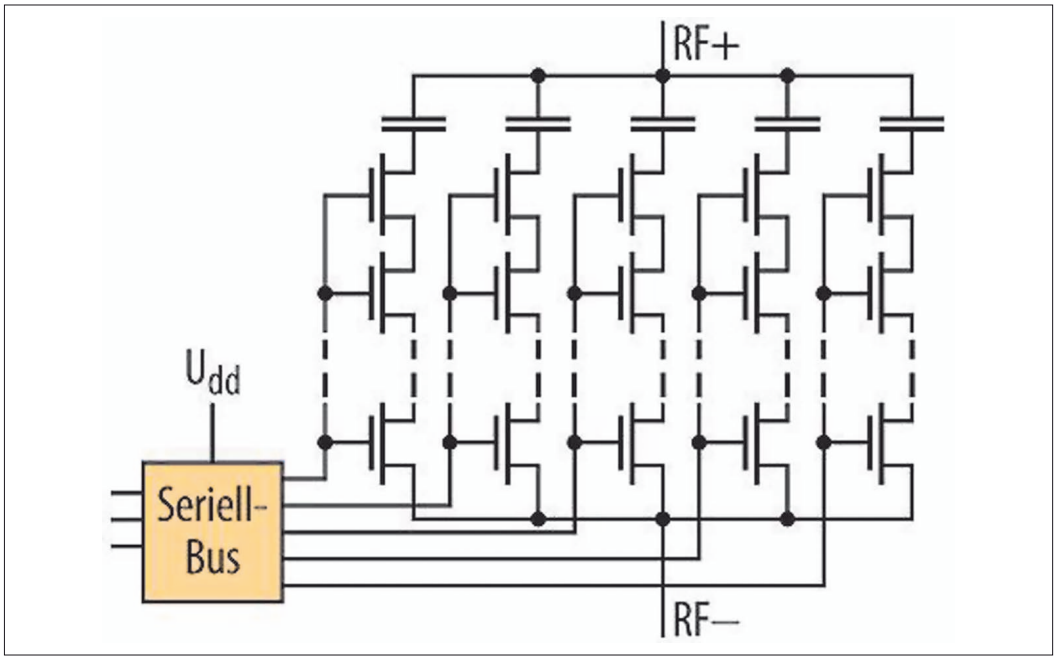


Bild 1: Prinzip elektronisch schaltbarer Kondensatoren (Quelle: Peregrine)

Grundsätzlich ist beim Design rekonfigurierbarer Antennen zu beachten, dass die anvisierte Betriebsbandbreite Einfluss auf die Anforderungen bei allen oben genannten Steuerparametern hat. Dieses Verhalten des Ersatzschaltbilds einer Antenne bei Frequenzänderung ist dem Antennentechniker allgemein bekannt.

Rekonfigurierbares Antennensystem nutzt MIMO-Technik

Über die Antenne(n) autonomer Fahrzeuge werden große Mengen Daten verschiedener Dienste parallel laufen. Daher werden beim automatisierte Fahren komplexe Antennensysteme benötigt. Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurde deshalb ein entsprechendes rekonfigurierbares Antennensystem entworfen. Es nutzt als Teil des LTE-Mobilfunkstandards die MIMO-Technik (Multiple-Input-Multiple-Output), die mit mehreren Antennen, Sendern und Empfängern arbeitet. Um deren Anzahl auf ein Minimum zu reduzieren, wechselt die Richtcharakteristik der Antennen. Das solle die parallele Übertragung von Daten über unterschiedliche Ausbreitungswege erhöhen.

Das Aufmacherfoto zeigt den Mitarbeiter M. Sc. Jerzy Kowalewski im Antennenmessraum mit dem Drehturm, auf dem eine seiner rekonfigurierbaren Antennen mit großer Masseflächе zu sehen ist. Die Masseflächе soll ein Pkw-Dach elektrisch simulieren.

Elektromechanisch gesteuerte Antenne aus Flüssigmetall

Forschern der NC State University in North Carolina ist vor wenigen Jahren der entscheidende Durchbruch bei der Herstellung von ausschließlich elektromechanisch gesteuerten Antennen aus Flüssigmetall gelungen, die ihre Resonanzfrequenz über mehrere Gigahertz anpassen können.

Schon zuvor wurden steuerbare leitfähige Flüssigkeiten ausgiebig auf Eignung für die Herstellung von HF-Komponenten erforscht, darunter auch Antennen. Doch meist gelang es nur, pneumatische Systeme zum Funktionieren zu bringen, sodass Komplexität, Kosten und Fehlersicherheit problematisch waren. Mit einer elektromechanischen Steuerung jedoch lassen sich Geschwindigkeit, Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Einstellbereich einer Antenne aus flüssigem Material deutlich verbessern. Genau dies gelang den Forschern der NC State University. Ihr Prototyp einer Antenne aus Flüssigmetall wurde mit eutektischem Gallium-Indium (EGaIn) innerhalb einer Kapillarstruktur ausgeführt. Hier gelingt die kontinuierliche und reversibele Steuerung mit Kleinspannung innerhalb eines 5:1-Einstellbereichs.

Eine elektromechanisch gesteuerte Antenne aus Flüssigmetall ändert ihre Resonanzfrequenz also über mehrere Gigahertz. Diese Entwicklung macht Hoffnung darauf, Antennenstrukturen zu schaffen, die mit softwarebasierten Funkgeräten für hochkonfigurierbare HF- und Mikrowellen-Kommunikationssysteme verwendet werden können.

Flüssigkristallmaterialien haben Zukunft

Mit der Weiterentwicklung von Methoden zur Strahlschwenkung und Strahlformung beschäftigen sich zurzeit vieler Forscher. Bei dem Ansatz mit Flüssigkristallmaterialien ist zukünftig auch

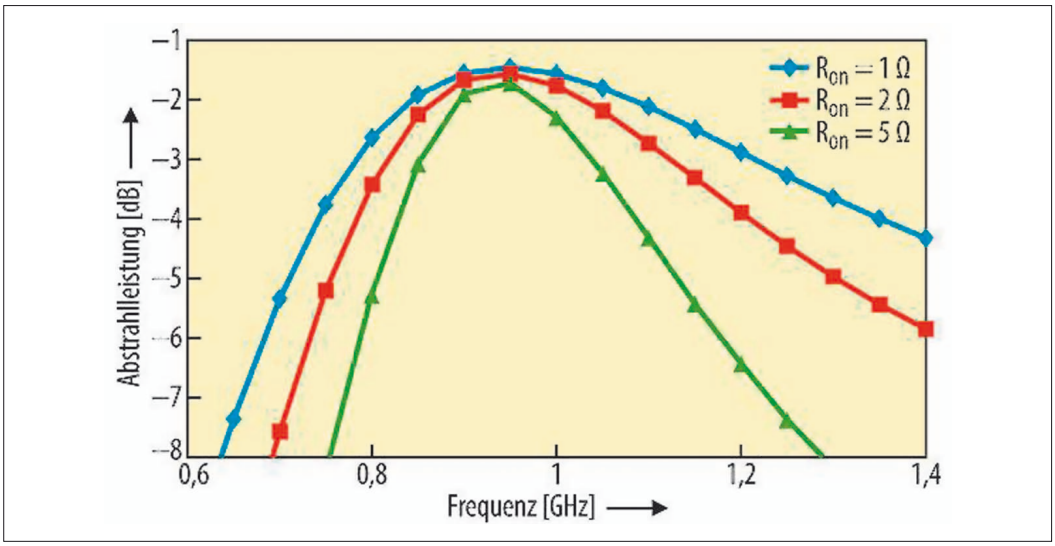


Bild 2: Simulationsergebnisse einer Antenne, die durch eine Überbrückung auf etwa 900 MHz Resonanz eingestellt ist. Der Ein-Widerstand des Überbrückungsschalters beeinflusst die Bandbreite (Quelle: Peregrine)

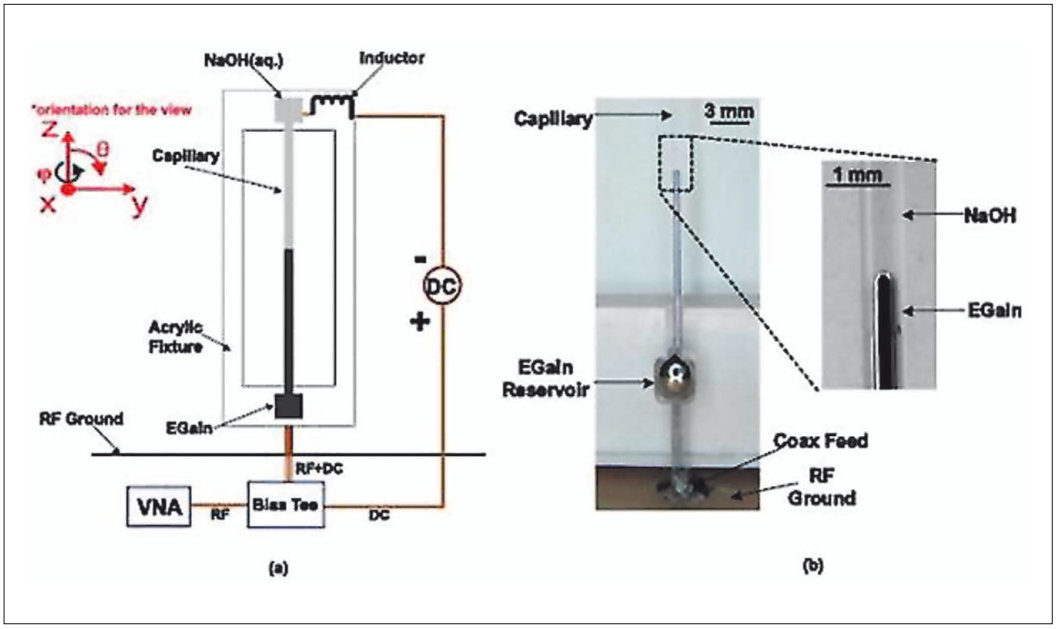


Bild 3: Die an die Kapillarstruktur angelegte Gleichspannung ermöglicht dem Flüssigmetall EGaIn, in die Kapillaren zu fließen. Es fließt zurück, sobald die Spannung abgeschaltet wird (Quelle: J. Appl. Phys. 117, 194901, 2015)

eine Anwendung in Bereichen wie Sensorik zur Fahrzeugumfelderkennung, drahtlosen Funkverbindungen an Hot Spots und Mobilfunktechnologien denkbar. So wurden neuartige Konzepte für rekonfigurierbare planare Millimeterwellen-Reflektorantennen mit Reflexionselementen auf Basis steuerbarer Flüssigkristalle (Liquid Crystal, LC) entwickelt und evaluiert [4]. Technologische Herausforderungen sind u.a. eine niedrige Dämpfung im Nutzbereich sowie ein Ansteuernetzwerk für die Flüssigkristallzellen, welches das HF-Feld nicht beeinflusst. Das Projekt wurde in Kooperation zwischen der TU Darmstadt und der Universität Ulm durchgeführt. Darin wurden bestehende Simulationsprogramme um die Berechnung von Reflexionsstrukturen erweitert. Neuartige Reflexionsstrukturen wurden im Hinblick auf ihre Phasen- und Dämpfungseigenschaften entwickelt und mit Simulationen und Messungen verifiziert. Dabei entstanden vielversprechende Ansätze für die Verwendung in LC-Arrays. Neue Methoden zur Charakterisierung der LC-Arrays wurden entwickelt.

Es konnten Einzelzellen auf einem LC-Array bei 35 GHz und später bei 77 GHz charakterisiert werden. Neu war in diesem Zusammenhang die Ausarbeitung von Charakterisierungsmethoden für Einheitszellen mit Polarisationsdrehung, da sie für gefaltete Reflectarray-Antennen benötigt werden. Weiter wurde ein Verfahren zur Diagrammsynthese basierend auf Partikelschwarmoptimierung ausgearbeitet. Damit lässt sich die Ansteuerung der LC-Antenne so optimieren, dass sich die gewünschten Abstrahleigenschaften bestmöglich ergeben. Schließlich wurden neuartige LC-Antennen realisiert.

Die untersuchten Reflexionsstrukturen bieten vielversprechende Möglichkeiten zur Verwendung im Antennenbereich. Durch Abwandlung lassen sich die entwickelten Strukturen ebenso für die Verwendung in anderen rekonfigurierbaren Technologien einsetzen.

FS

Zitate

„Das Mehrelemente-Antennen-Array eines phasengesteuerten Radars kann als rekonfigurierbare Antenne betrachtet werden, bei der die Phasenänderung des in die verschiedenen Antennenstrahler gespeisten Signals die Abstrahlcharakteristik ändert.” [1]

„Mittels Schalter können einzelne Antennenteile im Wechsel ein- oder ausgeschaltet werden, damit ändern sich die Richtcharakteristiken zu den jeweiligen Sendern und Empfängern.” Jerzy Kowalewski, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik (IHE) [2]

„Aktuelle Smartphones und tragbare Elektronikgeräte enthalten üblicherweise verschiedene leistungsschwache Antennendesigns, die sehr starken Designeinschränkungen aufgrund von Formfaktor und Antennennähe innerhalb des Geräts unterliegen. Eine rekonfigurierbare Antenne, die über einen großen Frequenzbereich einstellbar ist, könnte zur Optimierung der leistungsstärksten Frequenz für Kommunikationen eingesetzt werden und den Stromverbrauch sowie die Kosten von Filter und Netzwerkanpassung im Gerät deutlich senken.” [3]

„Antennen aus Flüssigmetall mit elektromechanischer Steuerung können die erforderliche Dimension an Konfigurierbarkeit bieten und Anwendungen von handelsüblichen und industriellen IoT/M2M-Anwendungen bis hin zum neuesten kabellosen Militärnetzwerk sowie Anforderungen elektronischer Kampfführung ermöglichen.” [3]

„Rekonfigurierbare Antennen mit erweiterten Funktionalitäten wie Strahlschwenkung und Strahlformung sind für viele Anwendungen im Millimeterwellenbereich wie Kommunikation, Radarsensorik für Kfz und Erderkundung von zentraler Bedeutung.” [4]

Quellen:

[1] Tero Ranta und Jill Olson, Fa. Peregrine: Was rekonfigurierbare Antennen können, www.elektroniknet.de

[2] Patrick Schäfer: KIT-Forscher entwickeln Antenne für große Datenmengen, www.springerprofessional.de/fahrzeugtechnik/funktionale-sicherheit/kit-forscher-entwickeln-antennensystem-fuer-grosse-datenmengen/15742082

[3] Vong Philavanh, Fa. Arrow Electronics: Elektromechanisch steuerbare Antennen bringen Veränderung in die Kommunikation, www.arrow.de/research-and-events/articles/electromechanically-shifting-antennas-changing-communication

[4] Rekonfigurierbare Millimeterwellen-Antennen mit steuerbaren hoch-anisotropen Flüssigkristallen, Antragsteller Prof. Dr.-Ing. Rolf Jakoby, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Menzel, http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/48246901/ergebnisse

[5] Whatley, R.; Pilgrim, D.: Tuning components enable better wireless performance. Peregrine Semiconductor in: Microwave Engineering Europe, http://www.microwave-eetimes.com/en/tuning-components-enable-better-wireless-performance.html?cmp_id=71&news_id=222902986. ◄