

Antenneffektivitet

viktigaste parametern för en liten antenn



Liten och stor har olika behov

En antenn är en komponent som har till funktion att konvertera elektromagnetisk energi i luften till elektromagnetisk energi i någon form av vågledare. Antenner är komplexa elektromagnetiska apparater som kan konstrueras för vitt skilda ändamål. Det kan vara enorma parabolerna för att plocka upp radiovågor från miljontals kilometer ut i rymden eller pyttesmå mönster på ett kretskort gjorda för att koppla en NFC-signal från en sändare till en mottagare i ett RFID-kort.

Här vill vi fokusera på en mycket vanlig typ av antenn som garanterat alla idag kommit i kontakt med till vardags – små¹⁾ antenner för olika typer av uppkopplade prylar. Det kan handla om WLAN-accesspunkter eller små sensornoder i IoT-nät. Den typ av antenner vi avser kan sitta till exempel i el/vattenmätare, datorer, hörlurar, datormöss eller bilnycklar.

Gemensamt för denna typ av antenn är att vi i allmänhet ställer de flesta av kraven: Billig, kompakt, enkel att integrera, bra mikrovågsprestanda.

I DENNA ARTIKEL kommer vi att fokusera på den sista av dessa punkter och redan ut vad bra mikrovågsprestanda egentligen betyder när det kommer till små antenner.

Idag finns en uppsjö leverantörer som säljer olika antenner för olika frekvensband och olika typer av integration i enheter. Vanliga typer är till exempel keramiska antenner som ytmonteras på mönsterkort, olika typer av dipol-antennerna som ansluts via externa kontakter och små antenner på mönsterkort som ansluts med interna kontakter. Vilken av dessa eller andra man ska välja beror helt på tillämp-

¹⁾ Med liten antenn menar vi här en antenn som är elektriskt liten, dvs typiska dimensioner på antennen är mindre eller ungefär lika med våglängden på den strålning antennen är designad för.

²⁾ En rikt spridande miljö kallas på engelska rich isotropic multhpath (RIMP). Det är ett vanligt begrepp när man diskuterar kommunikation med små antenner.



Av Robert Rehammar och Klas Arvidsson, Bluetest

Robert Rehammar är disputerad från Chalmers och har arbetat tio år i industrin med mikrovågsteknik med fokus på antenner. Han är tjänstledig från Bluetest, där han är teknikchef. Bluetest är världsledande tillverkare av utrustning för test av enheter med små antenner. Robert jobbar just nu i ett forskningsprojekt på Chalmers och driver samtidigt det egna bolaget RAR AB, som fokuserar på mikrovågsdesign och antenntekonstruktion.



Klas Arvidsson är produktchef på Bluetest sedan 2011. Han har över 20 års erfarenhet av telekomindustrin genom sitt arbete på Ericsson med utveckling av 2G-, 3G- och 4G-basstationer samt mikrovågsänkar. Klas har en mastersexamen från Elektroteknik på Chalmers.

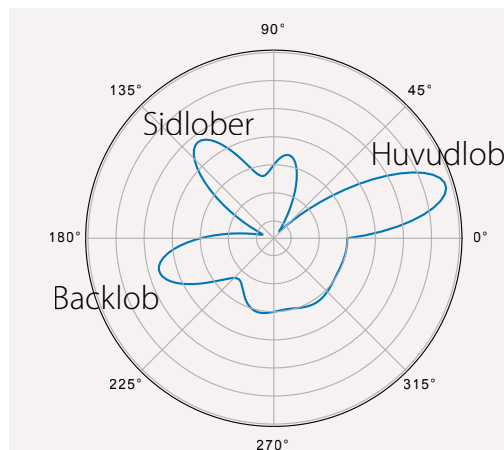
ningen och hur man vill integrera dem.

Gemensamt för de flesta användarfall som är aktuella för ovan listade antenner är dock att de ska användas i en rikt spridande miljö²⁾. Där har man som hårdvarudesigner, och därmed ofta ansvarig för integration av antenn, typiskt inte kunskap om hur antennen kommer vara orienterad i förhållande till antennen i andra änden av den radiolänk man vill upprätta. Denna brist på information är avgörande för hur man ska tänka när man konstruerar och integrerar sin antenn. Det är också avgörande i att göra en parameter viktigare än alla andra när man ska välja antenn från ett prestandaperspektiv. Denna parameter är antennens *effektivitet*.

Antennens huvudsakliga funktion är att flytta elektromagnetisk energi från luften till en vågledare. För små antenner handlar det ofta om en vågledare på mönsterkort, till exempel en mikrostrip eller en coplanär vågledare. (Det kan påpekas att eftersom antenner är passiva, reciproka komponenter gäller alla relationen åt bägge håll, och vi kan välja fritt om vi vill betrakta antennen som en sändare eller mottagare, ekvationerna gäller åt bägge hållen).

EN BASAL RELATION mellan effekten i luften och effekten i vågledaren är:

$$P_{out} = eP_{in}$$



Exempel på 2d-strålningsdiagram.

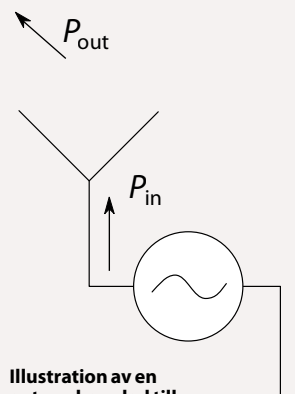


Illustration av en antenn kopplad till en generator och de två effekterna i ekvation 1.



Modväxlarkammare i genomskärning. På vridbordet syns en telefon placerad i en hållare.

Där P_{in} är effekten tillgänglig för antennen och P_{out} är effekten antennen skickar vidare (till luften eller vägledaren, beroende på om den sänder eller tar emot). Konstanten e kallas antennens *effektivitet* och är ett mått på hur effektiv antennen är på att konvertera energi mellan de två medierna. För en perfekt antenn är denna 1, eller 100% i linjär skala, eller 0 i dB. Typiska små antenner ligger mellan -1 och -5 dB, det vill säga någonstans mellan 20 och 70% av energin kan gå förlorad.

För en strålände antenn är P_{out} den totala energin som den strålar ut i luften. Denna betecknas vanligen *total radiated power*, TRP och det är vanligt med regulatoriska krav på en lägsta och en högsta TRP för en viss tillämpning i ett visst band, såsom för en WLAN-radio på 2,45 GHz ISM-bandet.

Det finns många andra storheter som kan vara relevanta för en antenn. Den mest kända

är förmodligen strålningsdiagrammet. Detta är en funktion i två vinkelvariabler, ofta betecknade φ och θ och brukar betecknas $g(\theta, \varphi)$. För en stor antenn är detta en mycket viktig storhet då den beskriver hur stor del av den utstrålade effekten som lämnar antennen i en viss riktning (ska man vara nog är g linjärt relaterad till det elektriska fältet av en viss polarisation, men låt oss här koncentrera oss på effekt och därmed låta g beskriva den utstrålade effekten i en viss riktning). Strålningsdiagrammet kan normeras på olika sätt, men ofta används det som ett relativt mått på hur stor andel av strålningen som sker i en viss riktning. Även g är reciprok och gäller både för sändning och mottagning.

Strålningsdiagrammet är av stor vikt i de lägen man kan använda informationen det innehåller till något. Det mest uppenbara (men inte det enda) som informationen i strålningsdiagrammet kan användas till är

att avgöra hur man ska placera sin antenn så att merparten av den utstrålade energin riktar åt det håll man vill ha den, till exempel i riktningen en mottagande antenn sitter eller riktningen till en stjärna om man sysslar med astronomi. I dessa lägen vill man rikta antennens huvudlob (se figur sid 20) mot källan.

I många situationer är detta dock inte möjligt. Detta gäller exempelvis för en mobiltelefon och för små trådlösa enheter som ska placeras av en användare i en mer eller mindre okänd miljö. För denna typ av tillämpning blir strålningsdiagram tämligen ointressanta. Effekten förstärks i situationer med en starkt spridande miljö, det vill säga när det finns många objekt i signalens väg som gör att siktlinjen mellan sändare och mottagare är skyddad. Då kommer energin som överförs från sändaren till mottagaren att transporteras via reflektioner och diffraktion som komplicerar utbredningsegenskaperna avsevärt. För denna typ av miljöer beskriver man utbredningen genom statistiska modeller som fångar typiska egenskaper i miljön.

OM MAN NORMERAR sitt strålningsdiagram så att:

$$\iint_{\text{stären}} g(\theta, \varphi) = 1$$

brukar man säga att diagrammet beskriver direktiviteten hos antennen. Man kan då definiera en ny funktion:

$$G(\theta, \varphi) = eg(\theta, \varphi)$$

som brukar betecknas *förstärkning* (eng. *gain*).

EFTERSOM DET ÄR KOMPLICERAT att ange ett helt strålningsdiagram är det vanligt att förkorta ner informationen och endast ange gain eller direktivitet i en viss riktning, normalt i huvudlobens riktning. Denna anges då ofta i dBi, vilket innebär att man jämför strålningen från sin antenn i riktningen (θ, φ) med hur mycket en tänkt isotrop antenn som strålar lika mycket i alla riktningar strålar i riktningen (θ, φ) .



Förstärkningen, G , hos en antenn kan mätas i en ekofri kammare (eng. Anechoic chamber, AC). Det är ett stort rum där man placerar mikrovågsabsorberande material på väggarna och därigenom tar bort så mycket reflektioner man kan.

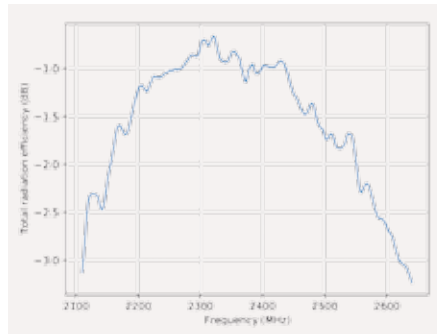
Eftersom G skalas med g kan man dock inte läsa ut något om effektiviteten, e , utifrån en mätning av G . Effektiviteten kan också mätas i en ekofri kammaren, men för små runtstrålade antenner är det ofta svårt att mäta detta med stor noggrannhet då all typ av montering av antennen i kammaren tenderar att störa mätningen.

EN ALTERNATIV TEKNIK för att mäta effektivitet är modväxlarkammare (eng. reverberation chamber, RC). En RC har, istället för absorberande material på väggarna, metall som reflekterar all strålning. I en RC kan man inte mäta strålningsdiagram. Men det blir istället väldigt lätt att snabbt och med hög noggrannhet mäta effektivitet.

Kopplar man sedan antennen till en radio som matar antennen med en viss effekt, P_{in} , kan man genom att multiplicera högerledet i ekvationen ovan få ett uttryck för hur mycket strålning, nu mätt i W per vinkelhet, systemets antenn-plus-sändare skickar ut i olika riktning.

Regulatoriska krav är ofta angivna i någon eller flera av dessa storheter, till exempel maximal tillåten utstrålad effekt, P_{out} , eller maximal tillåten utstrålad effekt i en viss riktning, EIRP (t.ex. in mot huvudet för en mobiltelefon i tal-position).

DET ÄR VANLIGT bland tillverkare av små antenner att i datablad ange antennens gain, som då ofta ligger kring 3–5 dBi. Det är då mycket viktigt att vara medveten om att denna siffra inte säger något alls om hur effektiv antennen är – det är alltså inte möjligt att utifrån ett värde på gain i huvudlobens riktning säga något om hur effektiv anten-



Uppmätt effektivitet på en liten PCB-antenn i modväxlarkammare. Man kan se att även en enkel antenn i billigt FR4 kan göras mycket effektiv genom korrekt design.

nen är. Och eftersom det, för en designer av en apparat som ska sitta i en rikt spridande miljö, inte är möjligt att nyttja informationen om hur man ska rikta antennen för maximal prestanda är en siffra på gain ointressant.

EN YTTRELIGARE VANLIG och viktig parameter hos en antenn är hur väl anpassad (eng. matched) den är till impedansen som den matas med. För mikrovågor kommer en del av den energi som en antenn matas med att reflekteras tillbaka till sändare och gå förlorad. Effektiviteten hos antennen kan därmed delas upp i två delar:

$$e = e_l e_r$$

där e_l betecknar effektförluster inne i antennen (och potentiellt andra förluster) medan e_r betecknar förluster i form av reflekterad energi. Reflektionsförluster, e_r , är ofta väldigt lätta att mäta genom att koppla antennen till en nätverksanalysator och det är vanligt att tillverkare anger hur väl antennen är matchad över ett visst frekvensband. Acceptabelt brukar vara en matchning där $e_r < -6$ dB. Det betyder att av en signal som matar antennen är det mindre än -6 dB som reflekteras tillbaka (andra vanliga namn på e_r är reflektionskoefficient Γ eller S_{11}).

Det är viktigt att antennen är väl anpassad. Men resultatet av en illa anpassad antenn påverkar via ekvationen ovan direkt effektiviteten på antennen. Därmed räcker det att titta på effektiviteten för antennen. Det är också så att det återigen inte räcker att titta på anpassningen. Ett 50 ohms motstånd är perfekt anpassat till en 50 ohms matning, men en väldigt dålig antenn.

Tyvärr florerar många missuppfattningar kring dessa begrepp på nätet och hos tillverkare, och man kan till exempel på för övrigt bra web-sidor läsa påståenden som (ett exakt citat): "Note that there are no TRP specs, so in general you don't want the WIFI antenna to have too high of an efficiency, or the SAR and peak gain values will require a large conducted power backoff."

Detta är naturligtvis ett helt felaktigt påstående. Man vill i alla lägen ha så hög effektivitet på sin antenn som möjligt. Är man i det tursamma läget att man då strålar ut för hög effekt ska man istället sänka uteffekten från sin radio och därmed spara batteritid eller bara elförbrukning. Det är också så att bättre effektivitet leder till bättre mottagning av svaga inkommande signaler.

SKA DU VÄLJA EN ANTENN till ditt IoT-system framöver? Kräv då effektivitetsdata på de antenner som du väljer mellan för att göra ett korrekt val. Reflektionsdata och gaindata kan ge indikationer, men är inte tillräckliga för att bygga ett designbeslut på.

I en färdig design är det viktigt att verifiera slutresultatet som förutom själva antennens prestanda även inkluderar antennplacering och inkapsling. Detta kan med fördel göras i en RC, och Bluetest i Göteborg tillhandahåller möjligheter att göra denna typ av mätningar mycket effektivt. Det går också att göra mycket effektiva antenner direkt i vanligt FR4 substrat, och därmed göra dem både flexibla och kostnadseffektiva. I figuren ovan syns uppmätt effektivitet hos en antenn tillverkad av företaget RAR, helt byggt i FR4 med konventionell mönsterkortsteknik och uppmätt i en RC. ■

GÖR DIG OCH DINA FRAMSTEG KÄNDA!

Genom att vinna SER Junior Prize för ditt exjobb eller din avhandling, får du både ära och berömmelse.

Du får: Publicering i våra tidskrifter och på SER:s hemsida.

Göra en presentation på SER:s årsmöte, även via Zoom.

En check på 10 000 SEK.

Anmäl dig nu, efter 2022-01-17 är det för sent, www.ser.se

Svenska Elektro- och Dataingenjörers Riksförening.

