

Actieve functionaliteit in een passieve RFID-tag

De RFID-paraplu dekt vele ladingen, van eenvoudige antidiefstallabels en veredelde barcodevervangers tot intelligente draadloze sensorknoppen die op uiteenlopende wijzen interageren met hun omgeving. Ramses Valvekens en Bram De Muer bespreken een recente samenwerking omtrent het ontwerp van een passieve UHF RFID-chip voor Tego uit Boston. Deze chip is uitgerust met interfacefunctionaliteit en heeft veel geheugen aan boord. Desondanks heeft hij geen batterij.

Ramses Valvekens
Bram De Muer

Actieve RFID-tags hebben een actieve zender aan boord die gewoonlijk wordt gevoed door een batterij. Passieve tags daarentegen betrekken hun energie uit de RF-golven die ze opvangen van de reader. Dit principe maakt de passieve variant zowel goedkoper als betrouwbaarder op lange termijn. De keerzijde is dat het belangrijke uitdagingen oplevert voor het chipontwerp, bijvoorbeeld op het gebied van vermogenverbruik.

De meest courante passieve tags vandaag werken op HF (13,56 MHz) of UHF (860 tot 960 MHz). Ze beginnen hun weg te vinden in logistieke ketens. Het ultieme doel is om tags aan te brengen op individuele producten (*item-level tagging*) en opvolging te doen van productie over distributie, gebruik en onderhoud tot recyclage. Op dit moment worden vooral recipiënten zoals dozen, pallets en containers voorzien van labels. Daarnaast worden ze gebruikt in lokalisatietoepassingen. Zo kun je tags en readers inbouwen in de vloer of in magazijndeuren. Identificatie van personen (met elektronisch paspoort of toegangsbadge) en dieren (met ingeplante tag) vormt een andere bestaande toepassing.

Passieve tags vonden toegang tot de logistieke sector dankzij mandaten zoals van Wal-Mart en standaardisatie van de protocollen. Zo standaardiseerde EPCglobal naast de luchtinterface voor passieve UHF-tags ook de

Electronic Product Code. Deze EPC is een 96 bit elektronische nummerplaat die toelaat producten uniek te identificeren in de mondiale logistieke keten. In 2006 werd de tweede generatie EPC-standaard Gen-2 overgenomen in Iso 18000-6C.

HF-tags dienen inductief te worden gekoppeld met de lezer, wat hun bereik beperkt tot hooguit enkele tientallen centimeters. Energieoverdracht gebeurt via het transformatorprincipe. Deze tags zijn herkenbaar door hun antenne, die bestaat uit een spoel met een aantal windingen. Hun werking is gestandaardiseerd als Iso 14443 en Iso 15693.

UHF-tags ondersteunen hogere datasnelheden door hun werking op hogere frequenties en ze kunnen beter worden uitgelezen terwijl ze bewegen. Ook is hun bereik groter omdat ze werken in het verre veld van de reader. Vandaag zijn snelheden tot 640 kbit/s gestandaardiseerd en halen ze verbindingen van meerdere meters.

UHF-tags verzenden hun data volgens het principe van *backscattering*. Het label moduleert de ontvangen draaggolf van de reader door dit signaal al dan niet te reflecteren. Dit gebeurt door de dipoolantenne al dan niet te ontstemmen. Deze modulatie van de antenne-impedantie is te vergelijken met het draaien van een spiegel om de reflectie van invallend licht te regelen.

De praktische bovengrens voor het leesbereik is direct gekoppeld aan het vermogenverbruik van de chip en de backscattering. Voor elektromagnetische golven op grote afstand van de zender is het ontvangen vermogen omgekeerd evenredig met het kwadraat van die afstand. Bij toepassing van backscattering is het door de reader ontvangen vermogen (bevat in het antwoord van de tag) dus omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand tussen lezer en tag. Een reader met een uitgangsvermogen van enkele watt en gevoelige ontvangstcircuits haalt een bereik van ettelijke meters.

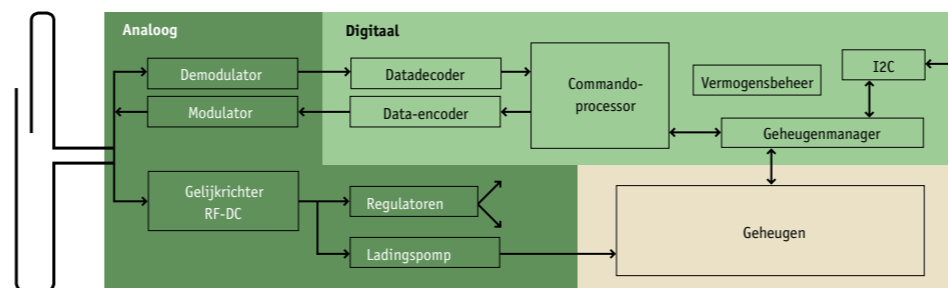
Elke toepassing moet worden onderzocht om optimale inpassing van RFID te kunnen garanderen. Zo zijn vloeistoffen RF-absorberende sponzen en geven metalen juist reflecties. Ook uitgekend antenneontwerp is cruciaal voor UHF-tags. Antennediversiteit wordt toegepast om oriëntatiegevoeligheid te verminderen. Een aangepaste (*near-field*) antenne kan het bereik zo nodig beperken.

De tagelektronica zit veelal ingebed in een siliciumchip. Daarnaast komen plastic tags

op, die de belofte van goedkope productie inhouden door toepassing van druktechnieken voor de elektronica en de antenne. Omdat de mobiliteit van de ladingsdragers in organische halfgeleiders echter ruim een factor duizend lager is dan in silicium, zullen deze tags worden ingezet bij lagere frequenties en datasnelheden en voor tags die minder feature-rijk zijn dan hun silicium broertjes.

Engineering judgement

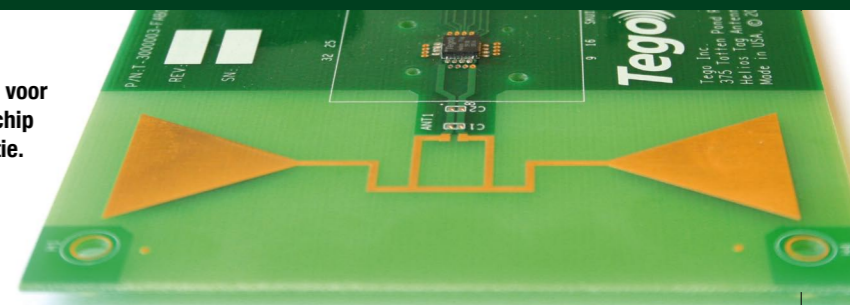
Tego nam Easics in de arm voor de ontwikkeling van zijn passieve Gen-2 UHF-tags. Hierop spraken de Leuvenaren hun plaatsgenoten van ICSense aan voor het ontwerp van de analoge circuits. Het bedrijf uit Boston baseert zijn Tegotag-productfamilie op de visie *active functionality in a passive tag*. Actieve functionaliteit betekent in eerste instantie een ruim bemeten niet-vluchtig geheugen en een interface naar de omgeving zoals sensoren en displays. Om deze en toekomstige extra features mogelijk te maken, hebben we een doordachte en schaalbare chiparchitectuur opgesteld die enerzijds zo veel mogelijk energie uit de lucht opvangt (*power harvesting*) en anderzijds elke functionele module op een strikt geregeld vermogendieet zet.



Power harvesting gebeurt met een gecascadeerde diodebrug en een hoogwaardige capaciteit op chip. Schottky-diodes zijn hierbij essentieel voor een hoog rendement omwille van hun lage spanningsval (gering verlies). De capaciteit wordt opgeladen op een hoge spanning. Haar energieopslag is immers, naast evenredig met haar oppervlakte, evenredig met het kwadraat van de aangelegde spanning. Ontwerp van een efficiënte gelijkrichter op UHF-frequenties was een iteratief proces, rekening houdend met de antenne-impedantie, het verbruik van de tag, de layout en de ESD-structuren aan de ingang.

De ontvangen energie wordt ook bepaald door de gekozen modulatie voor de back-

Easics en ICSense ontwikkelden een passieve Gen-2 UHF-tag voor het Amerikaanse Tego. De foto toont een prototype van een chip in plastic verpakking die kan wegvallen bij massaproductie.



scattering. Hiervoor bestaan twee mogelijke modulaties: ASK of PSK. Hoewel ASK zeer eenvoudig is te implementeren door modulatie van de reële antenne-impedantie, zorgt dit voor een complete impedantiemismatch bij uitzenden, met als gevolg het wegvallen van de inkomende energie. Dit is met PSK gedeeltelijk opgelost via imaginaire impedantiemodulatie, waarbij we leesbereik en vermogen tegen elkaar kunnen afwegen.

De rest van de chip daarentegen draait op een zo laag mogelijke spanning om het vermogenverbruik te beperken. Toegang tot de niet-vluchtige geheugens vergt evenwel tijdelijk hogere spanningen en stromen, die we just-in-time opwekken door hoogefficiënte ladingspompen en orkestreren met digitale controllers.

De inhoud van het te bemonsteren signaal en de nauwkeurigheidsvereisten van de uit te zenden golfvormen leggen de ondergrens en tolerantie op voor de frequentie van de klok voor de digitale logica. Vermogensoverwegingen stellen de bovengrens. Het dynamisch verbruik van de digitale logica wordt beperkt door verregaande partitionering van de logica in klokdomeinen, die een intelligente klokcontroller automatisch en op klokcyclusniveau aan- en uitschakelt. Om

Het niet-vluchtige gebruikersgeheugen bedraagt 32 kbyte en is geïntegreerd op chip. Dit is een substantiële uitbreiding in vergelijking met de gangbare 96 tot 512 bits. Behalve over dit uitgebreide geheugen beschikt de tag over extra interfacefunctionaliteit zoals I2C. Dit laat toe sensoren of displays te koppelen en dit geheel over de lucht van vermogen te voorzien. Voor meer vermogensintensieve toepassingen is er de mogelijkheid de tag te configureren als semipassief met een kleine batterij. Op deze manier kan de brug worden geslagen naar volledig actieve tags.

Onderhoudsboekjes

Voor een succesvolle werking van een intelligente UHF RFID-tag met een maximaal lees- en schrijfbereik is digitale, analoge en RF-coverificatie van vitaal belang, niet alleen naar functionaliteit maar vooral naar verbruik. Naast de traditionele digitale en analoge simulaties van de verschillende bouwstenen afzonderlijk hebben we een reeks van simulaties op chipniveau uitgevoerd: te beginnen met digitale implementatie (eerst RTL, daarna gate-level netlist) plus een analoog gedragsmodel, vervolgens digitale implementatie (eerst gate-level netlist, dan op transistorniveau) plus analoog op transistorniveau en ten slotte het geheel met parasitaire extractie, om het exacte dynamisch vermogen in rekening te brengen.

Voor het ontwerp van de spanningsregulators en de ladingspompen in combinatie met binnenkomend RF-vermogen verliep iteratief, in functie van de verfijning van de modellen van hun belastingen. Omwille van de verschillende voedings- en klokdomeinen verdiende het opstartgedrag bijzondere aandacht tijdens het ontwerp en de simulaties. Naast Mentor Graphics Modelsim SE gebruikten we voor deze simulaties Cadence Ultrasim met een intelligente opsplitsing van deelgebieden in simulatie-gebaseerde modellen.

Tijdens het ontwerp ontwikkelden we een uitgebreide regressietestsuite en bijhorende Gui om het initiële C++-model en de RTL-implementatie van de tag te verifiëren. Daarna koppelden we dezelfde suite aan een FPGA-prototype, wat toeliet de meetomgeving in het lab volledig draaiend te hebben tegen dat de chip arriveerde.

Een speciale versie van de chip met een reeks bijkomende pinnen is gerealiseerd om karakterisering te faciliteren. De hierin

ingebouwde bypassmultiplexers en bijkomende interfaces lieten toe de analoge en digitale circuits in eerste instantie onafhankelijk van elkaar in te stellen en uit te meten. Het doel is een volledige en diepgaande karakterisering te kunnen uitvoeren van het RF-, het analoge en het digitale deel apart en samen om zo de risico's naar productiechips te verminderen.

De eerste telg uit de Tegotag-familie is intussen met succes gedemonstreerd en beschikbaar voor sampling. We vinden hem terug in de luchtvaartsector. Tags worden aangebracht op vliegtuigonderdelen en vormen zo individuele onderhoudsboekjes die op lange termijn zeer betrouwbaar inzetbaar zijn. Door de schaalbare architectuur kan er snel worden ingespeeld op trends om zo nieuwe markten aan te boren, door afgeleide tags te creëren of het afgeleide IP te licensen.

De toekomst van RFID belooft interessant te worden. Zo wordt het samenvloeiën van actieve en passieve tags voorspeld, alsook het samenvloeiën met andere technologieën zoals barcodes, lokalisatietechnieken (gps, RTLS en andere) en andere draadloze standaarden, wie weet zelfs softwaregedefinieerde en cognitieve radio. Dit zal verder worden ondersteund door de evolutie van de vermogenlevering aan de RFID-tags. Er zijn nu interessante ontwikkelingen gaande in batterijtechnologie, zoals gedrukte of vastestofbatterijen. Ook *energy scavenging* uit beweging of alom aanwezige radiogolven komt binnen handbereik, naast uiteraard zonnecellen.

Om vorm te geven aan *the internet of things* lijkt het logisch dat RFID-functionaliteit ooit zal worden geïntegreerd in andere chips. Vanaf dan hoeven we enkel chiploze producten nog separaat te taggen. En wellicht zullen nieuwe communicatievormen ontstaan tussen tags onderling, zonder tussenkomst van een reader.

Ramses Valvekens en Bram De Muer zijn CEO van respectievelijk Easics en ICSense. Easics ontwerpt digitale systemen in Asic en FPGA. ICSense is gespecialiseerd in het design van analoge en hoogspanningschips en sensorinterfacing. Beide bedrijven zijn gehuisvest in het wetenschapspark Arenberg te Leuven en werken regelmatig samen op het vlak van mixed-signal-chipontwerp.

Redactie Alexander Pil