

3. PRINCIPII FUNDAMENTALE DE OPERARE IN RFID

In acest capitol se va descrie modul in care interactioneaza cele doua componente principale ale unui sistem RFID - transponderul si cititorul.

Exista doua probleme importante care trebuiesc clarificate:

- modul in care transponderul primeste energie pentru a functiona;
- transferul datelor intre transponder si cititor.

In practica exista o prima clasificare a transponderelor in doua grupe majore, functie de capacitatea de memorie inglobata. Astfel exista transpondere cu memorie de 1 bit si apoi transpondere cu memorie de n biti (n poate ajunge astazi pana la 16.000 si chiar mai mult).

3.1 Transpondere cu memoria de un bit.

Astfel de transpondere transmit catre cititor una dintre cele doua posibile informatii:

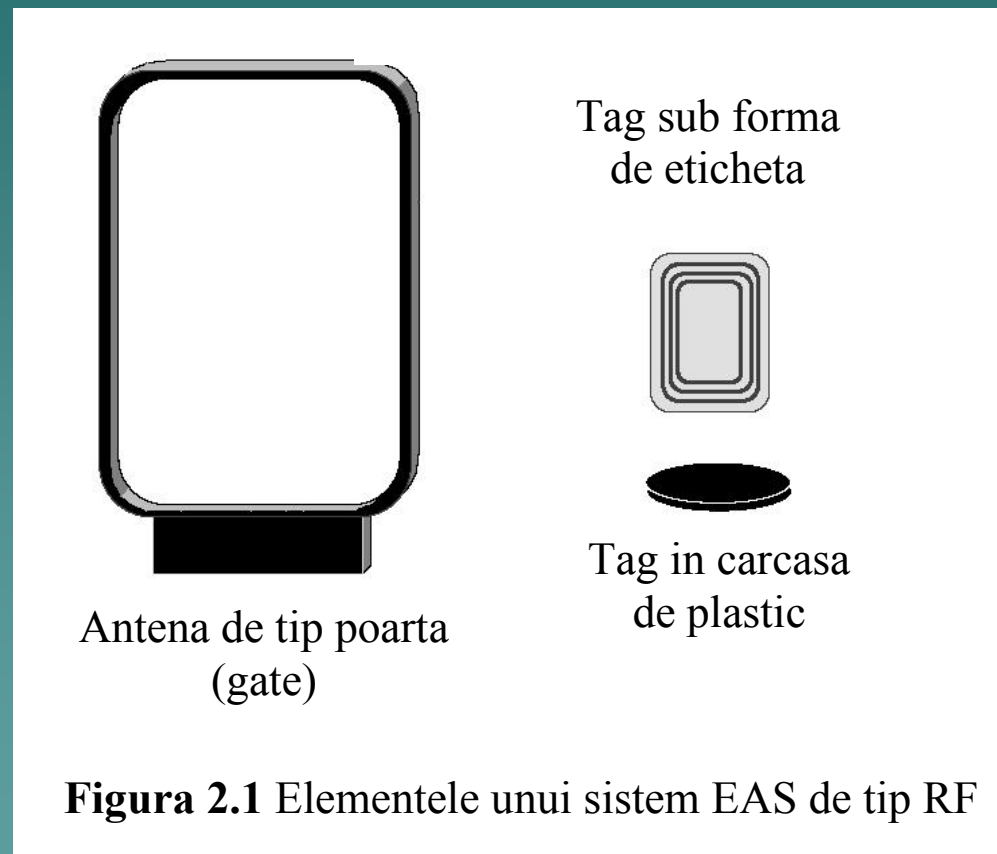
- transponderul *este* in aria de citire a cititorului;
- transponderul *nu este* in aria de citire a cititorului.

Desi cantitatea de informatie stocata si transmisa este atat de mica, astfel de transpondere sunt foarte intalnite. Acestea sunt aproape exclusiv folosite in domeniul **EAS – Electronic Article Surveillance** (supravegherea electronica a articolelor) si in special in dispozitivele anti-furt intalnite adesea in magazine.

Un sistem EAS este in general format dintr-un cititor, un element de securitate (tag) si, optional, un dispozitiv de dezactivare a tagului dupa efectuarea platii sau a inregistrarii transferului unui bun securizat de tagul respectiv (exemplu: cazul cartilor imprumutate de la o biblioteca). Cel mai adesea aceasta dezactivare are loc odata cu citirea codului produsului. Uneori este nevoie si de un dispozitiv de reactivare a tagului de securitate (exemplu: cazul cartilor returnate in biblioteca).

Principalul parametru care caracterizeaza sistemele EAS este rata de detectie care trebuie sa fie extrem de ridicata. Aceasta rata este in directa dependenta de marimea antenei cititorului si puterea de emisie a campului electromagnetic al acestuia. Cei doi parametri ai cititorului stabilesc de fapt raza de actiune a respectivului cititor.

Antena cititoarelor este de mari dimensiuni si se prezinta constructiv sub forma unei porti (fig. 2.1) sau a unei perechi de doua porti printre care produsul securizat trebuie sa treaca neaparat.



3.1.1 Tehnica interogarii in domeniul de radiofrecventa (modularea sarcinii)

Aceasta tehnica consta in realizarea unui tag sub forma unui circuit rezonant LC acordat pe frecventa de rezonanta f_R , aceeasi cu cea a campului electromagnetic emis de cititor prin intermediul antenei sale. In primele versiuni ale sistemelor EAS de acest tip, acest circuit LC era realizat dintr-o bobina formata dintr-o serie de spire din Cu la capetele careia era conectat un capacitor C, ansamblul fiind emailat si protejat intr-o carcasa de plastic. In sistemele moderne, bobina se realizeaza sub forma unei folii autoadezive foarte subtiri, din plastic, pe care este gravat un traseu de Al sau Cu, sub forma unor spire planare (fig 2.1). In acest caz condensatorul de acord este realizat prin doua armaturi dispuse de o parte si de alta a foliei din plastic, folie ce tine loc de dielectric. Adesea aceasta folie autoadeziva (numita uneori si eticheta) este dispusa pe spatele etichetei cu codul de bare ce indentifica produsul.

In vederea detectiei tag-ului, cititorul genereaza un camp magnetic alternativ in domeniul de radiofrecventa (uzual intre 1MHz si 10 MHz). Daca un circuit rezonant LC (continut in tag) ajunge in vecinatatea acestui camp emis de antena cititorului, o parte din energia campului magnetic este indusa in circuitul rezonanta LC, in conformitate cu legea lui Faraday. Daca frecventa campului electromagnetic este aceeaasi cu cea a circuitului rezonant LC, in acest circuit rezonant apare un curent oscilant care actioneaza impotriva cauzei care l-a indus, adica produce la randul sau un camp magnetic in opozitie cu cel produs de antena cititorului. Acest lucru are ca efect o usoara reducere a tensiunii in emitatorul cititorului. Un circuit electronic dedicat poate sesiza imediat aceasta scadere a tensiuni si poate astfel comanda declansarea alarmei semnaland faptul ca un transponder care se afla in proximitatea cititorului.

Un sistem de mai mare acuratete este cel format dintr-un ansamblu de doua porti in care una este o poarta transmitatoare a campului magnetic iar a doua este doar o poarta receptoare, perfect acordata pe frecventa campului emis si realizata constructiv similar cu prima poarta. Pe langa efectul descris anterior si produs la poarta transmitator datorita prezentei unui transponder in aria de citire, un efect similar se constata si in tensiunea rezultata la iesire portii receptoare. Aceste sisteme sunt de fapt cele mai intalnite datorita sensibilitatii sporite: aparitia unui transponder in aria de citire este sesizata de doua antene ale unui aceluiasi cititor. O problema importanta a acestor tipuri de sisteme EAS este legata de aproape imperceptibila modificare a tensiunii de la intrarea emitorului cititorului sau de la iesirea portii receptoare in prezenta transponderului, modificare care trebuie totusi detectata cu precizie deoarece indica prezenta elementului de securitate in raza de actiune a cititorului.

Practic, detectia acestei foarte mici modificari a valorii tensiunii de la intrarea/iesirea portilor detectoare se poate face numai daca circuitul LC al transponderului este perfect acordat cu frecventa campul magnetic, adica daca frecventa sa de rezonanta f_R este perfect identica cu cea a campului magnetic in aria caruia se afla.

Din pacate, frecventa de rezonanta f_R este influentata si de prezenta unor corpuri metalice in preajma transponderului iar dispersia tehnologica in realizarea bobinei L si capacitorului C ce formeaza circuitul rezonant LC este un alt factor ce conduce la dispersia valorii acestei frecvente de rezonanta. Toate aceste probleme pot fi insa eliminate daca se foloseste un camp magnetic care sa-si modifice continuu frecventa in jurul frecventei de rezonanta.

De exemplu, un sistem ce functioneaza pe frecventa de 8.2 MHz va emite un camp magnetic cu frecventa continuu variabila intre 7,4MHz si 9MHz. In acest mod, indiferent de dispersia tehnologica de realizare a elementelor sau de prezenta corpurilor metalice in apropiere, campul magnetic va fi la un moment dat acordat pe frecventa de rezonanta f_R si in situatiile in care aceasta frecventa are o anumita dispersie in jurul valorii de 8,2 MHz. Chiar daca acordul se realizeaza pentru foarte scurt timp, transponderul va fi detectat.

Dezactivarea acestor transpondere se face prin introducerea lor in campuri magnetice puternice care induc in circuitul rezonant LC curenti mari ce distrug folia dintre armaturile condensatorului, dezacordand astfel ireversibil circuitul rezonant LC.

3.1.2 Tehnica interogarii in domeniul microundelor.

Sistemele EAS in domeniul microundelor folosesc proprietatea unor componente cu caracteristici neliniare (de exemplu: diode, tranzistoare) de a genera armonici ale semnalului care circula prin acestea.

Prin definitie, **armonica** unui semnal sinusoidal $x(t)$ de frecventa f_x este un semnal sinusoidal $y(t)$ a carei frecventa f_y este un multiplu intreg al frecventei f_x .

In practica, semnalul pe frecventa f_x poarta denumirea de semnal pe frecventa fundamentala sau **prima armonica** a semnalului complex (frecventa f_x numindu-se uneori si frecventa purtatoare) iar armonicile frecventei f_x au valorile $2f_x$, $3f_x$, $4f_x$, etc.

Dioda varicap este una dintre cele mai folosite componente electronice pentru astfel de aplicatii. In constructia unui transponder de acest tip, dioda varicap este conectata la un dipol (antena construita din doua elemente conductoare), dipol acordat pe frecventa purtatoare (adica are dimensiunile constructive comparabile cu λ a campului electromagnetic emis de cititor).

Exista 3 frecvente uzual folosite in sistemele EAS din domeniul microundelor: 915MHz, 2,45GHz si 5,6GHz. Pentru a putea transmite sau receptiona in mod eficient un camp electromagnetic, un dipol trebuie sa aiba dimensiuni egale cu jumatate din lungimea de unda a radiatiei emise (dipol in $\lambda/2$) sau cu un sfert din λ (dipol in $\lambda/4$). Astfel, pentru frecventele specificate mai sus, in cazul dipolului in $\lambda/2$ (cel mai eficient si mai des utilizat), lungimile dipolilor au valorile 16,3cm, 6cm si 2,6 cm respectiv.

Circuitul electric echivalent al unui transponder de acest tip si constructia sa mecanica sunt prezentate in figura 2.2.

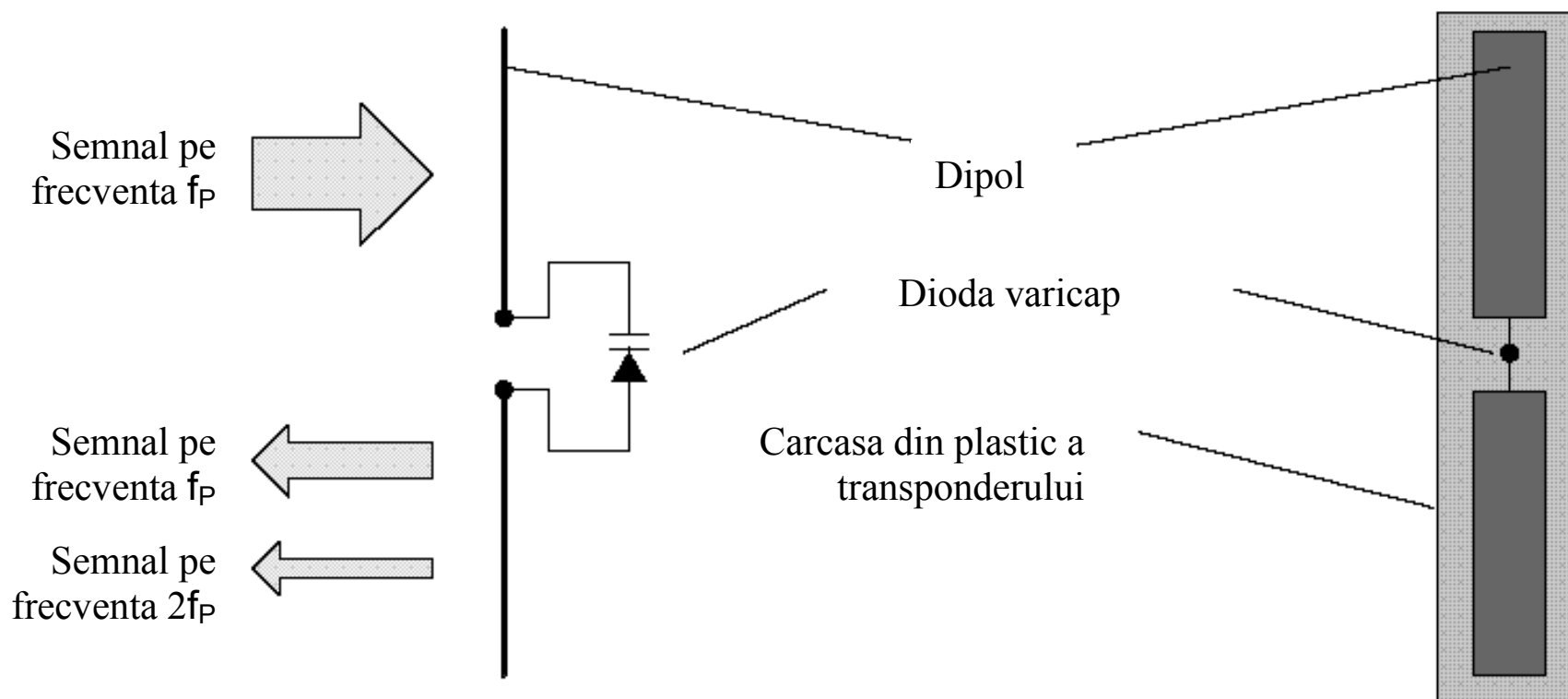


Figura 2.2 Circuitul electric echivalent si constructia mecanica a transponderului din domeniul microundelor

Functionarea unui sistem EAS din domeniul microundelor este prezentata in figura 2.3.

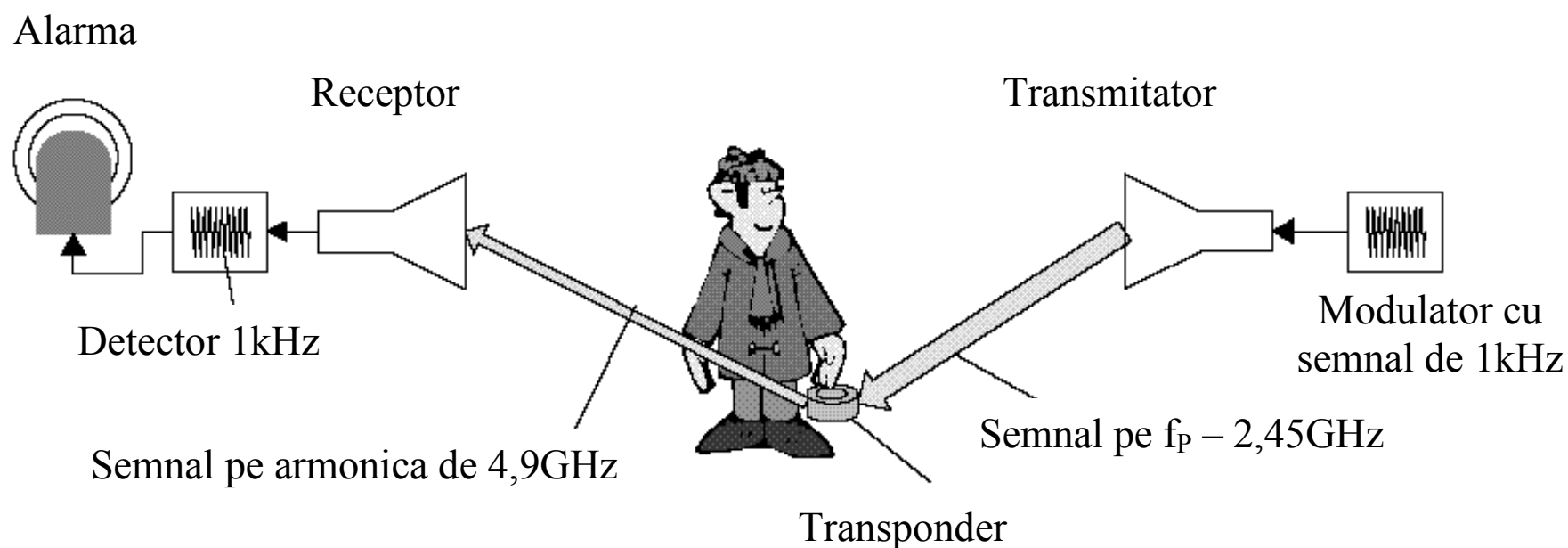


Figura 2.3 Sistem EAS pe frecventa purtatoare de 2,45 GHz

Functionare

Daca transponderul intra in raza de actiune a transmitatorului, atunci antena transponderului (circuitul acordat) receptioneaza un semnal pe frecventa purtatoarei f_p si un curent va circula prin dioda varicap. Conform principiului sau de functionare, dioda genereaza semnale electrice pe frecventele armonicelor frecventei purtatoare f_p . Doar acea armonica avand dublul frecventei purtatoare este utilizata (fiind si cea mai puternica). Aceasta armonica emisa de transponder este cea receptionata de catre receptorul sistemului.

Pentru o mai buna detectie si pentru protectia sistemului la semnale parazite, frecventa purtatoare este modulata la transmitator (in amplitudine sau frecventa) cu un semnal de joasa frecventa (1kHz). In acest caz si armonicile generate de dioda varicap a transponderului sunt si ele modulate de acest semnal de 1 kHz. La receptor semnalul receptionat este demodulat iar semnalul rezultat (avand frecventa de 1 kHz) indica prezenta transponderului in aria de interes si declanseaza alarma.

In cazul sistemului EAS din figura 2.3 este destul de probabil ca in mediul inconjurator sa existe semnale parazite avand frecventa de 2,45 GHz, ceea ce ar conduce la alarme false. Este insa putin probabil ca si aceste semnale parazite sa fie modulate cu un semnal de 1kHz. De aceea s-a ales aceasta masura suplimentara de protectie.

Astfel de transpondere sunt in general construite intr-o carcasa dura din plastic si sunt adesea folosite pentru a proteja articolele textile si articolele de parfumerie impotriva furtului.

Sistemul este unul de cost redus, tagurile putand chiar fi uneori retinute la casa de marcat si apoi reutilizate sau, mai rar, sunt distruse prin supunerea tag-ului la un camp de intensitate mult mai mare, care duce la distrugerea diodei varicap prin supradisipatie.

3.1.3 Sisteme cu divizare de frecventa

Aceasta tehnica este cel mai adesea folosita in domeniul frecventelor 100...150 kHz. Cele mai uzuale frecvente purtatoare folosite sunt 125kHz in Europa si 134kHz in SUA , Canada si Australia. Tagul de securitate contine un cip si o antena formata dintr-o bobina realizata dintr-o serie de spire din Cu emailat la capetele careia este lipit un capacitor cu care se realizeaza circuitul rezonant LC. Astfel de taguri sunt incasetate intr-un plastic dur si se indeparteaza de pe produse atunci cand acestea sunt platite. Si aceste tipuri de taguri pot fi reutilizate.

Ca si in cazurile precedente, transponderul primeste energia necesara functionarii din campul magnetic emis de cititor.

Asa cum se observa in figura 2.4, semnalul emis de antena cititorului are frecventa f . Specific metodei cu divizare de frecventa este faptul ca cipul transponderului realizeaza o divizare cu 2 a frecventei semnalului receptionat la iesirea circuitului rezonant (antena), semnal ce este apoi transmis inapoi cititorului prin intermediul antenei transponderului.

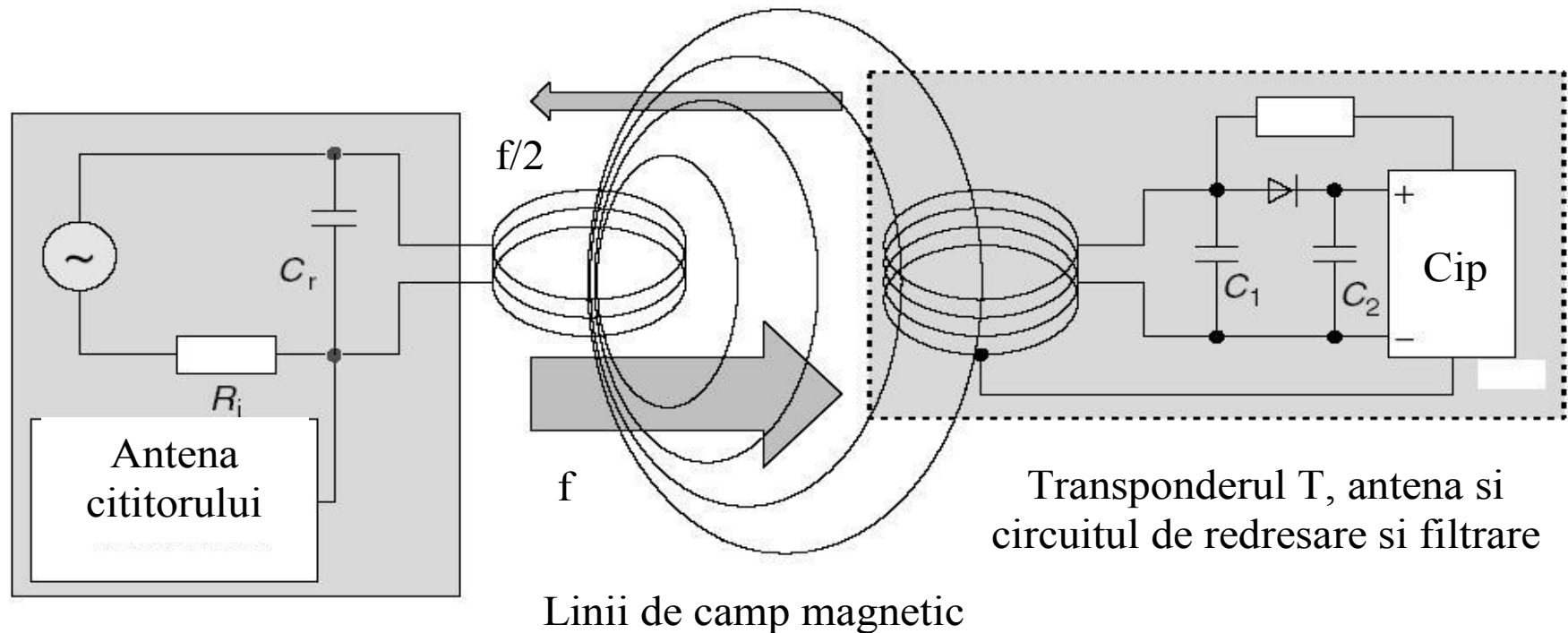


Figura 2.4 Transferul energiei intre cititor si transponder prin camp electromagnetic de frecventa f si raspunsul transponderului pe frecventa $f/2$

Si in cazul sistemelor cu divizare de frecventa, pentru a imbunatati rata de detectie la cititor, semnalul transmis de tag este modulat in amplitudine cu un semnal de joasa frecventa (12,5 Hz sau 25 Hz, coeficient de umplere 50%). Aceasta modulare este realizata tot de catre cipul din tag-ul de identificare.

Modulatie suplimentara are aceleasi avantaje ca si in cazul modularii armonicelor superioare, prezentate in paragraful anterior.

3.1.4 Sisteme EAS acustico-magnetice

Tagul folosit ca element de siguranta in sistemele EAS acustico-magnetice sunt realizate sub forma unor lamele dintr-un plastic dur, de dimensiuni foarte mici (de exemplu: $L \times l \times h = 40 \times 8 \times 1$ mm). Astfel de taguri se intalnesc dispuse sub etichetele sticlelor de parfum, in copertile cartilor, etc.

Lamela din plastic contine doua benzi: una realizata dintr-un material magnetic dur, lipita de cutia din plastic si o a doua banda realizata dintr-un metal amorf, pozitionata astfel incat sa poata vibra mecanic.

Metalele feromagnetice (cum ar fi Ni, Fe, etc.) isi schimba usor lungimea in prezenta unui camp magnetic. Acest efect se numeste magnetostrictiune si apare ca efect al modificarilor distantelor interatomice intr-un material magnetizat.

Daca campul magnetic inconjurator este unul alternativ, atunci banda de metal feromagnetic vibreaza pe directia sa longitudinala cu o frecventa egala cu cea a campului magnetic alternativ. Amplitudinea vibratiei devine maxima atunci cand frecventa campului magnetic extern devine egala cu frecventa de rezonanta (acustica) a metalului feromagnetic.

Acelasi efect magnetostrictiv poate apare in anumite conditii si in metalele amorfe. Deoarece sunt mai ieftine, ele sunt folosite adesea in sistemele EAS. Pentru ca efectul magnetostrictiv sa apara in materialul amorf este necesar ca acesta sa fie magnetizat (ceea ce se intampla daca se afla intr-un camp magnetic permanent). Acesta este motivul introducerii unei benzi din material magnetic lipita de carcasa tagului, peste care se dispune banda de material metalic amorf.

Factorul decisiv al folosirii acestei tehnici in realizarea sistemelor EAS este faptul ca efectul magnetostrictiv este reversibil. Aceasta inseamna ca materialul care vibreaza emite totodata un camp magnetic alternativ, avand frecventa egala cu cea a vibratiei. Mai mult, daca campul magnetic care a excitat materialul si l-a facut sa vibreze inceteaza brusc, amplitudinea vibratiei materialului se diminueaza treptat in timp, insa nu dispare imediat. Toate acestea stau la baza functionarii sistemelor EAS acustico-magnetice. Un exemplu de astfel de sistem este prezentat in figura 2.5. Se poate observa in aceasta figura cum un transmitator genereaza un camp magnetic alternativ avand frecventa egala cu frecventa de rezonanta (acustica) a materialului amorf din tag.

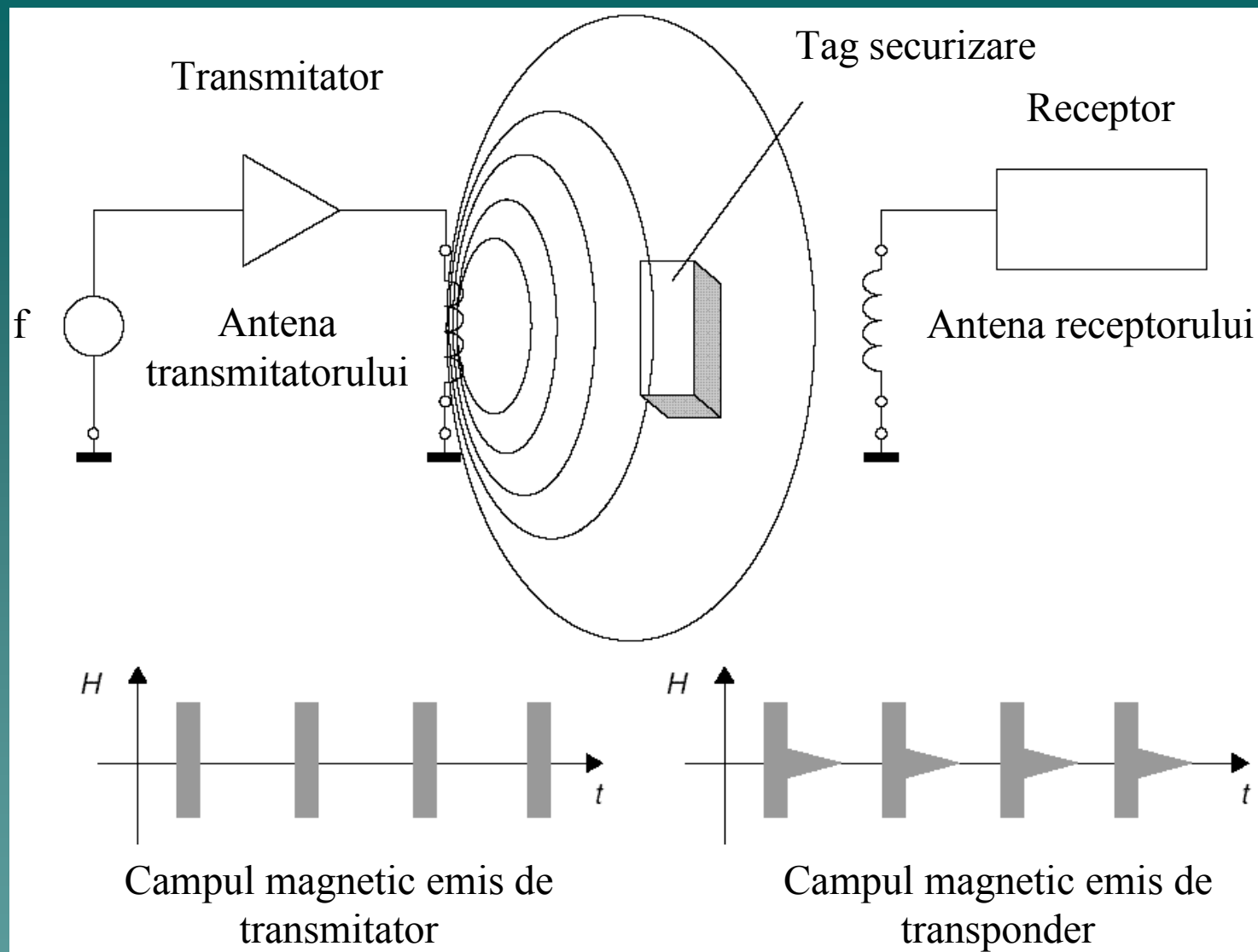


Figura 2.5 Sistemul EAS acustico-magnetic. Caracteristicile tranzitorii ale campurilor magnetice ale transmitatorului si transponderului

La aparitia acestui camp magnetic alternativ, materialul metalic amorf va vibra cu aceeasi frecventa si va emite la randul sau un camp magnetic alternativ propriu. Pentru detectia tagului, campul magnetic excitator este intrerupt periodic iar in aceste pauze va exista doar campul magnetic alternativ emis de materialul amorf din tag. Chiar daca acest camp magnetic este rapid descrescator, el poate fi receptionat de un receptor acordat, in scurtul interval de timp cat dureaza intreruperea campului magnetic emis de transmitator. Astfel se sesizeaza faptul ca un tag este in raza de actiune a unei perechi transmitator – receptor ce formeaza un sistem EAS de acest tip.

3.2 Transpondere cu memoria de n biti.

În cazul acestor transpondere există un element (cip) cu „inteligență”, asemănător unui microcontroler, dotat cu memorie de capacitate mai mare sau mai mică, funcție de tip, producător și aplicație.

Capacitatea de memorie poate ajunge și până la 16 kbiti, valoare ce poate fi oricând depășită dacă aplicația o cere. În această memorie este stocată informația legată de obiectul ce trebuie identificat. Pentru a fi stocate (adică înscrise) și apoi citite în și, respectiv, din transponder, este necesară o procedură de comunicație între cititor/inscripător și transponderul dotat cu memorie. Transferul de informație poate fi de tip full-duplex (datele pot fi transmise în ambele sensuri simultan) sau half-duplex (datele pot fi transferate în ambele sensuri dar nu simultan).

In ambele cazuri, transferul de energie de la cititor catre transponder, necesar obtinerii in transponder a tensiunii de alimentare se face obisnuit in mod continuu, pe intreaga durata a legaturii, adica atat timp cat transponderul sta in aria de actiune a cititorului (acest lucru este valabil doar pentru transpondererele pasive).

Exista si sisteme RFID in care acest transfer este discontinuu. Aceste sisteme se numesc sisteme RFID secventiale iar transponderul transmite date catre cititor in pauzele in care campul magnetic sau electromagnetic al cititorului este intrerupt. Unii specialisti clasifica in literatura de specialitate si aceasta procedura tot ca o procedura half-duplex.

3.2.1 Load modulation (modulatia produsa de prezenta transponderului)

Transmiterea energiei de la cititor la transponder se face prin intermediul campului magnetic emis de antena cititorului. Liniile de camp magnetic traverseaza bobina circuitului rezonant al antenei transponderului si, daca acest circuit este acordat pe frecventa campului, apare la iesirea antenei transponderului o oscilatie care dupa redresare este folosita pentru alimentarea chip-ului. Se constata deci ca acest transfer de energie seamana cu transferul de energie realizat in cazul unui transformator, intre primarul si secundarul acestuia. In cazul sistemelor RFID cuplate magnetic, acest transfer poate avea loc numai daca distanta cititor transponder este mai mica decat $0,16\lambda$ - unde λ este lungimea de unda a radiatiei emise. Limita de $0,16\lambda$ este o limita din teoria campului electromagnetic din imediata apropiere a antenei emitatorului („near field”). Pentru cazul unui sistem RFID ce functioneaza pe frecventa de 13,56 MHz, aceasta distanta limita este de 3,5m (practic se obtin 1,2m).

Daca un transponder cu o antena acordata pe frecventa campului cititorului este prezent in vecinatatea acestuia, transponderul extrage energie din campul magnetic emis de cititor. Acest lucru creaza o reactie in circuitul antenei cititorului similar cum o sarcina prezenta in secundarul unui transformator creaza o reactie in primarul acestuia.

In concluzie, similar ca in cazul transformatoarelor, prezenta unui transponder in aria de actiune a cititorului poate fi reprezentata ca o impedanta de transfer Z_T in circuitul antenei cititorului, impedanta care produce o scadere a amplitudinii tensiunii ce excita antena cititorului. Desi aproape imperceptibila, aceasta scadere poate fi sesizata de circuite dedicate in cititor, realizand detectia transponderului aflat in raza de actiune a cititorului.

Pentru o mai buna detectie a transponderului aflat in raza de actiune a cititorului se foloseste suplimentar si o tehnica de modulare: in paralel cu circuitul rezonant al antenei transponderului este conectat un rezistor de sarcina care este permanent comutat ON-OFF de catre cip-ul transponderului. Aceasta tehnica se numeste load modulation (modulatie indusa de sarcina) si este prezentata in figura 2.6, unde rolul rezistorului este luat de un tranzistor MOS.

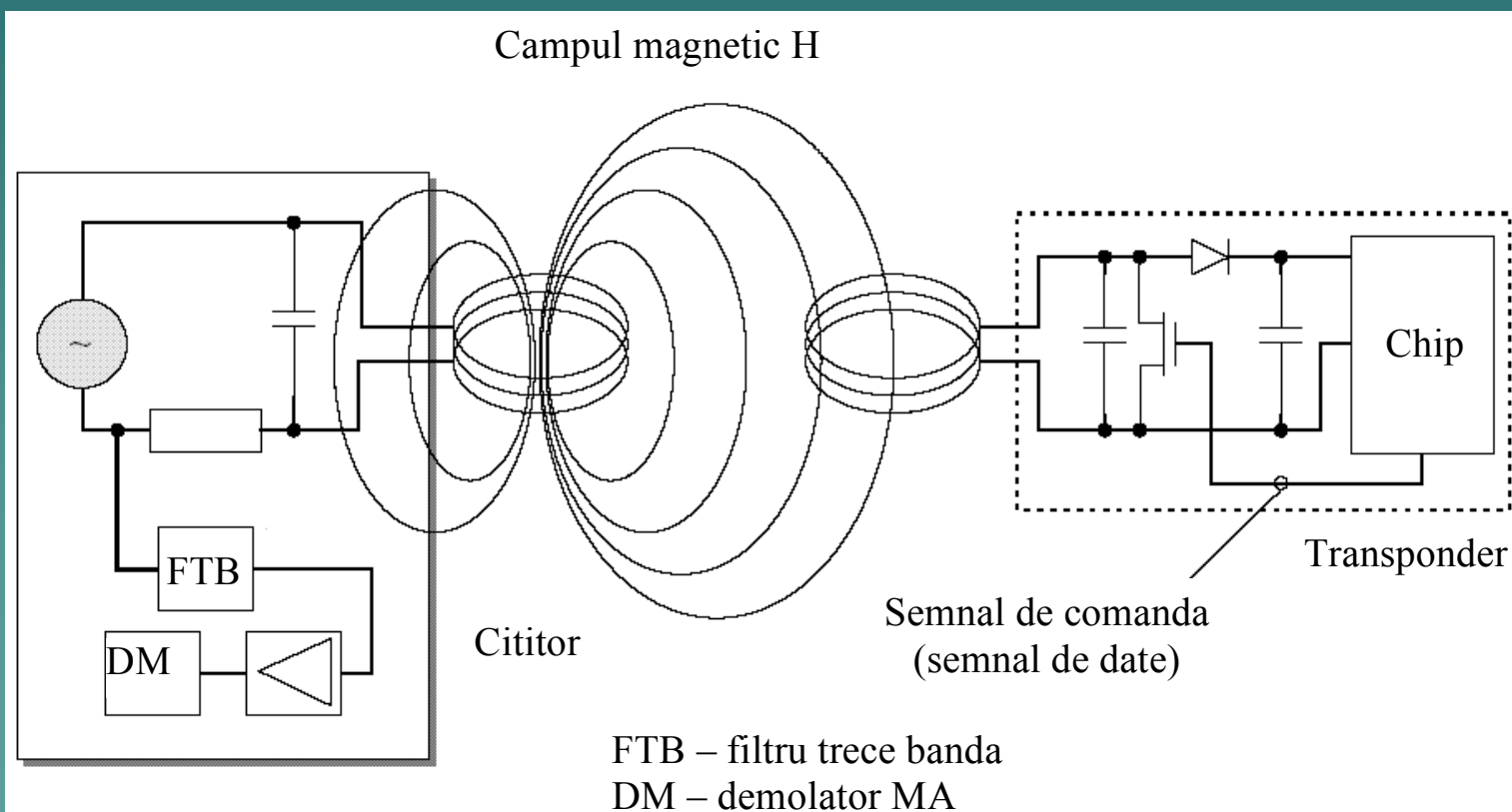


Figura 2.6 Generarea “load modulation” in tranponder prin comutarea unui tranzistor

In stare blocata (OFF) – adica necomandat pe grila de catre cip – tranzistorul are o impedanta foarte mare si circuitul rezonant nu este afectat (extrage energie din camp si deci produce scaderea tensiunii din antena cititorului). In starea saturata (ON) – cand e comandat pe grila de catre cip – tranzistorul este echivalent cu o rezistenta foarte mica care amortizeaza puternic oscilatia in circuitul rezonant al antenei transponderului, si deci antena transponderului nu mai extrage energie din camp, disparand astfel efectul reducerii a amplitudinii semnalului la intrarea antenei cititorului.

Comutarea ON–OFF a tranzistorului are loc cu o frecventa mult mai mica decat frecventa campului emis de cititor, iar semnalul rezultat in antena cititorului este practic un semnal modulat in amplitudine.

În figura 2.7 este prezentat spectrul de frecvențe a semnalului ce apare la cititor în prezența unui transponder în raza sa de acțiune. Așa cum se observă în figura 2.7, componentele spectrale datorate modulației în amplitudine sunt extrem de mici în comparație cu componenta spectrală corespunzătoare semnalului purtător de 13,56 MHz (-80 dB, adică de 10000 de ori mai mici).

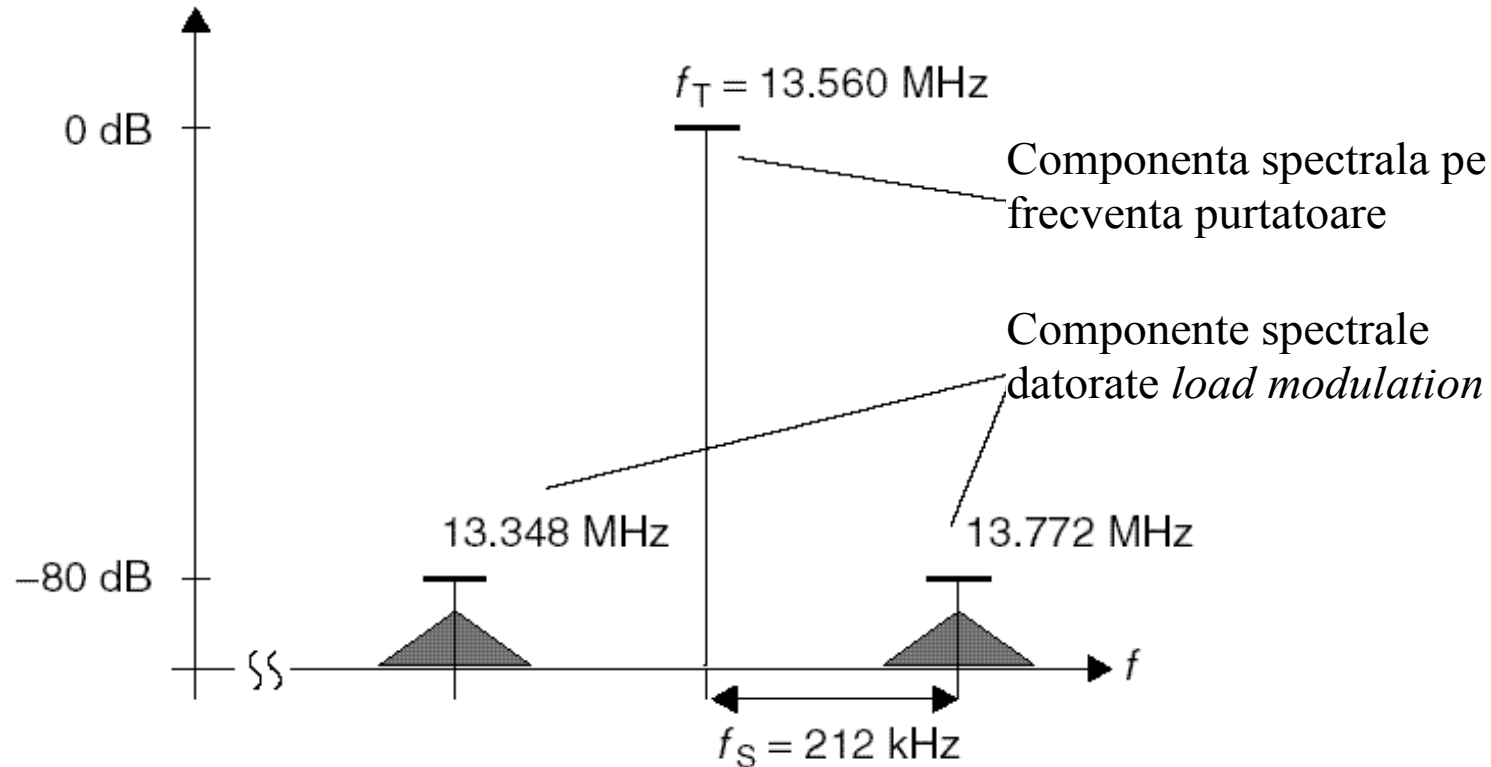


Figura 2.7 Benzile laterale ale semnalului MA

Este usor de observat ca prin tehnica descrisa anterior se pot transmite date de la transponder catre cititor daca se admite ca starea ON a tranzistorului de sarcina corespunde, de exemplu unui „0” logic iar starea OFF unui „1” logic.

Datele sunt extrase la cititor printr-o simpla operatie de demodulare a unui semnal modulat in amplitudine obtinut la bornele antenei sale.

Pentru a transmite deci date de la transponder este necesar ca semnalul numeric de comanda a grilei tranzistorului de sarcina sa contina datele de transmis catre cititor. Rolul formarii acestui semnal si extragerea datelor din memorie revine cipului transponderului.

3.2.2 Sisteme RFID cuplate prin camp electromagnetic

Sistemele RFID existente pe scara larga astazi in lume folosesc frecvente de operare sub 30MHz si, implicit, au o distanta de operare de maxim 1,2 – 1,5m. Distanțe mai mari de operare sunt posibile dacă frecvența de lucru este în domeniul UHF (Ultra High Frequency). În acest caz însă, transferul energiei de la cititor la tag-ul ce conține transponder se face prin câmp electromagnetic, iar distanțele de operare ajung chiar și la 12m. Au apărut deja sisteme RFID ce lucrează pe frecvențele de 868MHz (Europa), 915 MHz (SUA), 2,4 GHz și 5,8GHz. Evident că pentru aceste frecvențe și la aceste distanțe de operare nu se mai respectă condiția de câmp apropiat („near field”) pentru care era valabil transferul energiei doar prin câmp magnetic.

In cazul transferului de energie prin camp electromagnetic, analiza sistemelor RFID trebuie sa tina seama de teoria campului indepartat care ne arata ca energia transmisa de un emitator scade dupa o lege de tip logaritmic cu distanta fata de antena emitatorului. In cazul transponderelor ce lucreaza in acest domeniu, cercetarile desfasurate in diferite companii au aratat ca se pot construi transpondere care sa functioneze cu mai putin de $5 \mu\text{W}$ (Friedrich si Annala, 2001). Totusi, pentru o distanta de operare mare este necesara o putere consumata mai mare. De exemplu, in martie 2004, compania Trolley Scan a anuntat implementarea unui proiect RFID pentru supravegherea si accesul bunurilor si persoanelor intr - un ansamblu de cladiri care poate opera pana la 6 m si utiliza transpondere functionand pe frecventa de 868/915 MHz cu o putere de $200 \mu\text{W}$.

Pentru a fi accesibila o asemenea putere la nivelul cip –ului transponderului trebuie sa stim ca eficienta circuitului de redresare si filtrare a semnalului oscilatoriu furnizat de antena (circuitul rezonant) este de doar 5–25% in domeniul UHF. Presupunand o eficienta de 10% si o atenuare maxima a puterii in spatiul dintre cititor si transponder de 40dB (10.000 de ori), rezulta ca avem nevoie de o putere la antena cititorului de 0,5W EIRP (effective isotropic radiated power). O atenuare de 40dB poate fi obtinuta doar daca distanta de operare este de maxim 3 m in sistemele ce functioneaza pe frecventele de 868/915 MHz, sau 1m la 2,45 GHz de exemplu.

Evident ca pentru distante de operare mai mari, in conditiile limitarii puterii de emisie datorita reglementarilor specifice este necesar ca transponderul sa foloseasca si o baterie proprie.

Atunci cand se utilizeaza transpondere active, energia furnizata de baterie este folosita pentru alimentarea cip -ului dar nu si pentru transferul informatiilor intre cititor si transponder. Transponderul folosit trebuie sa fie de consum minim (facilitati de tip "power down" sau „stand-by”).

Cip -ul unui transponder activ este activat in prezenta campului electromagnetic al cititorului. Pentru aceasta este necesar ca sa existe un camp suficient de puternic (transponder in raza de actiune a cititorului). Pentru sesizarea acestui camp si reactivarea cip-ului se folosesc circuite de redresare a oscilatiei provenite de la antena transponderului, realizate cu diode Schottky de bariera joasa (care functioneaza la nivele mici de tensiune).

In cazul sistemelor RFID cuplate electromagnetic, tehnica utilizata pentru transmitia datelor de la transponder la cititor foloseste modulatia reflectata. Se stie de la teoria functionarii radarului ca o unda electromagnetica se reflecta de obiecte care au dimensiuni mai mari decat jumătate din lungimea sa de unda. Energia reflectată este proporțională cu **aria efectivă (echivalentă) de reflexie, normală pe direcția undelor incidente – Aer** (reflection cross-section). Antena transponderului poate fi un excelent sau foarte slab reflector, cu aria efectivă de reflexie depinzând esențial de acordul antenei pe frecvența unei incidente:

- dacă antena este rezonantă, reflexia este intensă, situație echivalentă cu **Aer** mare;
- dacă antena este dezacordată, reflexia este mult redusă, situație echivalentă cu **Aer** mică.

Așadar, modificând acordul antenei transponderului, se modifică **Aer** și deci intensitatea undei reflectate. Un astfel de sistem RFID este prezentat schematic în fig. 2.8.

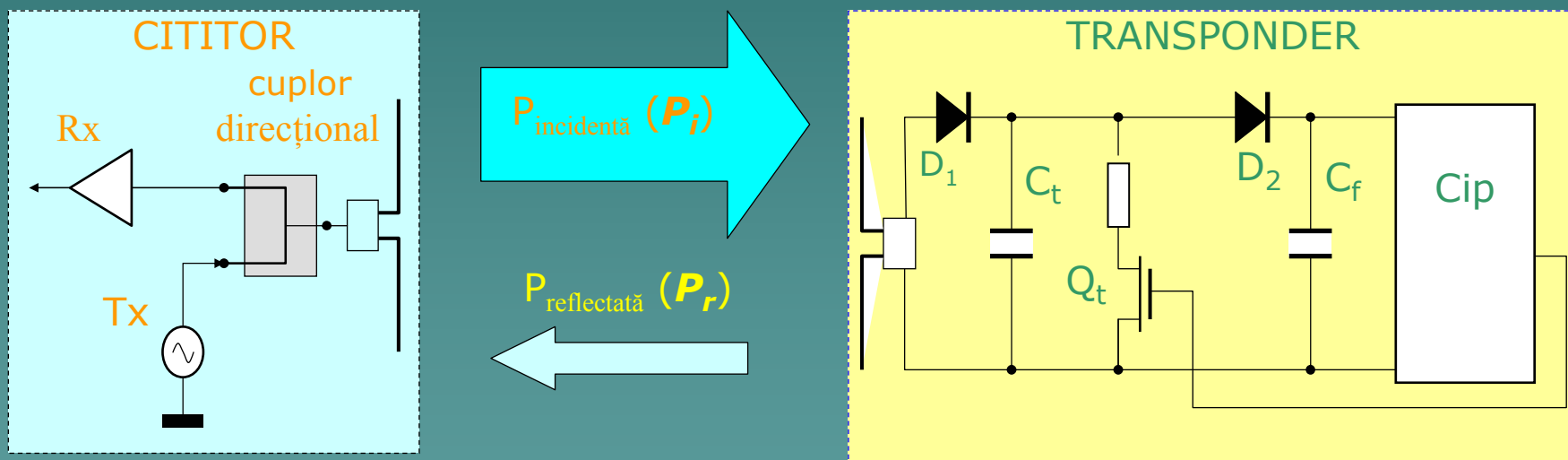


Fig. 2.8. Sistem RFID în UIF/EIF cu reflexie a undelor (unda reflectată este modulată)

Unda reflectată nu este direcționată – puterea reflectată este împrăștiată (dispersată) anizotrop, în jurul transponderului; astfel numai o mică parte ajunge la cititor.

Pentru a transmite date de la transponder la cititor este suficient să folosim un rezistor de sarcină în circuitul acordat al antenei transponderului (sau tranzistor MOS în exemplul din figura 2.8, similar ca în paragraful anterior). Dacă comandăm cuplarea/decuplarea acestuia cu un semnal digital corespunzător datelor de transmis, semnalul reflectat de transponder devine modulat în amplitudine (de unde și denumirea de tehnică cu modulație reflectată) iar datele pot fi recuperate la cititor prin demodulare.

Pentru a separa în circuitul antenei cititorului semnalul emis de cel recepționat (reflectat de transponder) se folosesc așa numitele cuploare direcționale.

3.2.3 *Sisteme RFID cuplate electric (cu cuplaj electric strans)*

Sistemele RFID cuplate electric se mai numesc si capacitive deoarece antenele cititorului si transponderului se comporta ca doi electrozi ai unui capacitor.

Antena cititorului se construiesc sub forma unei arii conductoare (care formeaza un prim electrod), in general dintr-o folie de metal aplicata pe un suport din plastic sau chiar dintr-o placa metalica (figura 2.9).

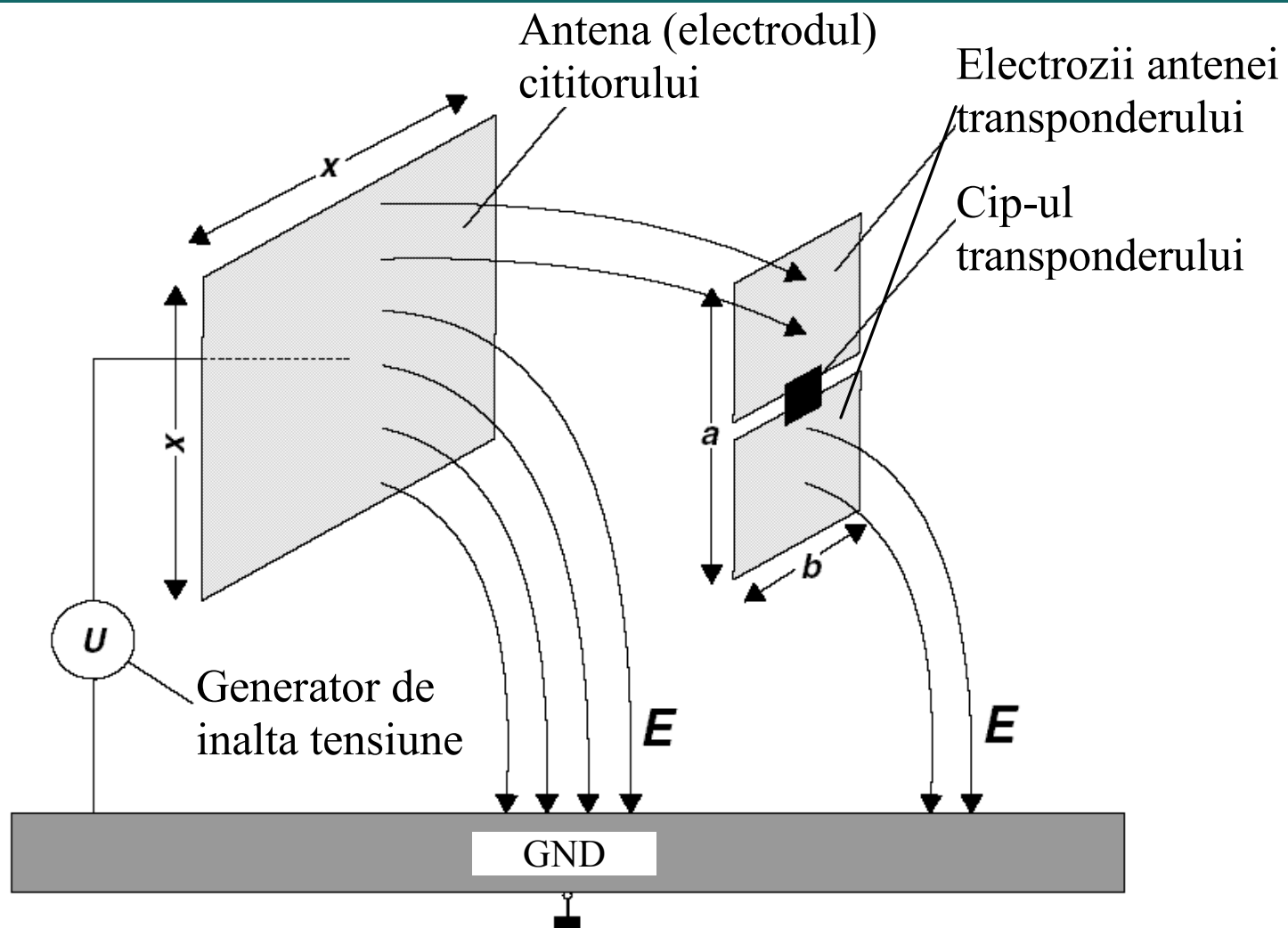


Figura 2.9 Sistem RFID cuplat electric (capacitiv)

Daca acestui electrod i se aplica o tensiune de frecventa inalta, intre acest electrod si pamant (GND-ground) – privit ca un al doilea electrod - apare un camp electric de inalta frecventa. Valoarea tensiunii necesara a fi aplicata este de valoare mare (sute sau chiar mii de volti) si se obtine la iesirea unui circuit rezonant L_1C format din inductanta echivalenta L_1 a electrodului si o capacitate echivalenta C formata dintr-un capacitor intern C_1 si capacitatea dintre electrod (cititor) si pamant, notata C_{R-GND} in figura 2.10.

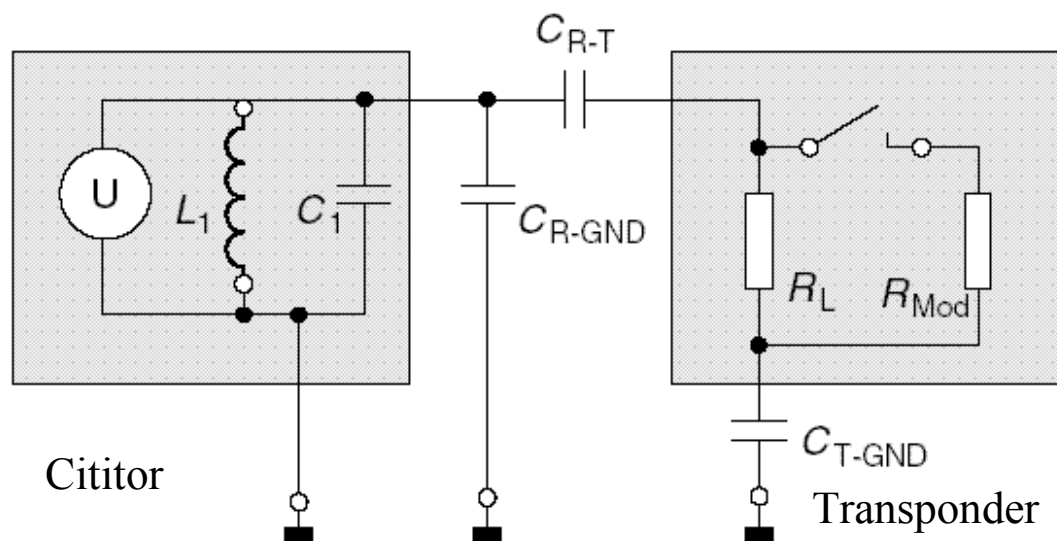


Figura 2.10 Circuitul echivalent al sistemului RFID cuplat electric (capacitiv)

Antena transponderului este formata, la randul ei, din doua suprafete conductive plane, care sunt numite electrozi, asa cum este prezentat in figura 2.9. Daca transponderul ajunge in raza de actiune a cititorului, atunci intre cei doi electrozi ai antenei transponderului apare o tensiune care este folosita la alimentarea cip-ului transponderului.

In modelul electric al unui astfel de sistem cuplat apar doua capacitati echivalente de cuplaj: C_{R-T} intre cititor si transponder si C_{T-GND} intre electrozii transponderului si pamant. Circuitul echivalent prezentat in figura 2.10 contine si:

- R_L care modeleaza rezistenta echivalenta la intrarea transponderului;
- R_{Mod} care modeleaza rezistenta de sarcina (folosita la transmisia datelor impreuna cu un comutator electronic - modularea sarcinii).

Daca un transponder apare in raza de actiune a cititorului, acesta intervine in circuitul echivalent prin rezistenta R_L si prin condensatorul echivalent de cuplaj C_{R-T} , elemente care conduc la amortizarea circuitului oscilant al cititorului format din grupul L_1 si C_1 . Amortizarea conduce la scaderea valorii amplitudinii oscilatiei in circuitul rezonant L_1C si detectia prezentei transponderului in vecinatate. Marimea amortizarii poate fi controlata prin introducerea in circuit a rezistentei de sarcina R_{Mod} . Daca un semnal de date comanda comutatorul electronic din figura 2.8 (adica cuplarea sau nu a rezistentei de sarcina), atunci la bornele circuitului rezonant L_1C_1 apare un semnal modulat in amplitudine de catre semnalul ce contine datele transmise de transponder. Ramane ca un simplu demodulator MA sa refaca datele transmise pentru ca cititorul sa poata obtine informatia din transponder.

3.2.4 Transpondere cu undă acustică de suprafață

În transponderele cu **undă acustică de suprafață** (SAW - Surface Acoustic Wave), se utilizează efectul piezoelectric direct și invers "de suprafață".

Efectul piezoelectric direct poate fi descris astfel: dacă un paralelipiped din cristal de cuarț este solicitat mecanic pe două fețe, pe alte două, perpendiculare pe primele, apare o diferență de potențial. Efectul piezoelectric invers poate fi explicat astfel: dacă pe două fețe opuse ale unui paralelipiped din cristal de cuarț se aplică o tensiune, pe o direcție perpendiculară apare o deformare elastică mecanică. Dacă tensiunea aplicată variază periodic, deformarea elastică este tot periodică și se propagă sub forma unei *unde elastice de volum* care are frecvența proprie. Când aceasta undă are valoare maximă se spune că s-a atins rezonanța - adică se realizează rezonanța între tensiunea electrică variabilă și deformarea mecanică.

Atunci cand propagarea are loc pe suprafața cristalului, propagarea se face aproximativ cu viteza sunetului (3 ... 4km/s), aceste unde fiind numite **unde acustice de suprafață – SAW**.

SAW se propagă, se reflectă, prezintă fenomenul de dispersie, etc., ca orice undă.

Evident, dacă o SAW întâlnește o rețea de electrozi depuși pe suprafața cristalului, în aceștia se vor induce tensiuni variabile.

Dacă distanța dintre electrozi este $\approx \lambda/2$, unde λ este lungimea de unda a SAW, pe suprafața apare fenomenul de rezonanță care se poate manifesta astfel:

- în cazul efectului invers: generarea unei unde elastice de amplitudine maximă;
- în cazul efectului direct: generarea unei tensiuni electrice de amplitudina maximă.

Se remarcă faptul că sistemele SAW funcționează în UIF și EIF (500 MHz - 3GHz), corespunzător distanțelor realizabile practic pentru depunerile metalice ale traductorilor (pt $f=0,5-3,5\text{GHz}$, $\lambda_{\text{SAW}}=7..1\mu\text{m}$

Structurile de pelicule metalice care asigură transformarea reciprocă a energiei electrice în energie mecanică se numesc *traductori electroacustici* (electroacoustic transducers); De regulă, aceștia au forma unor piepteni cu dinții întrepătrunși, se mai numesc și traductori interdigitali (fig. 2.11)

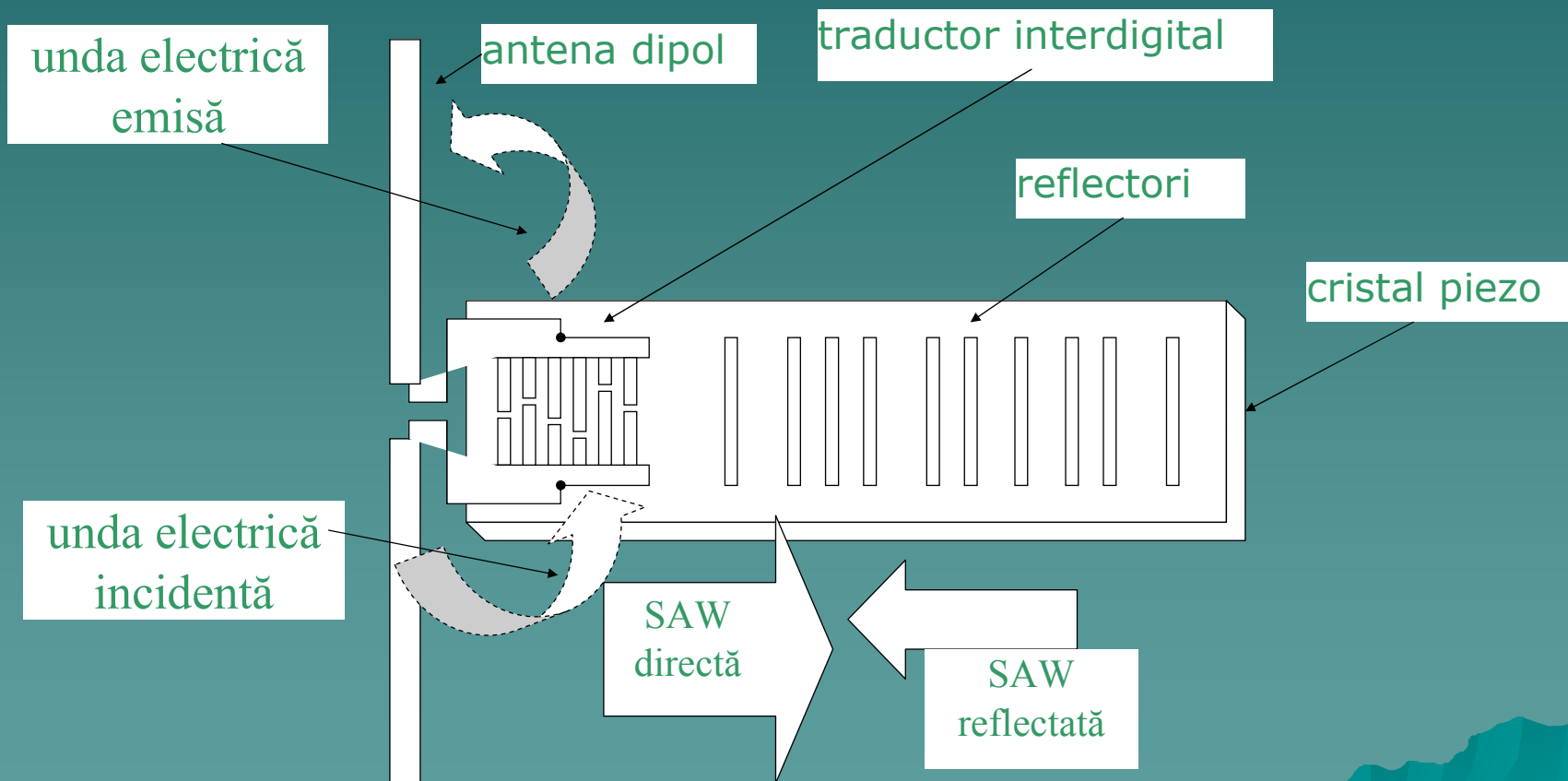


Fig. 2.11. Structura unui transponder cu undă acustică de suprafață

Când un tren de unde emise de cititor cu frecvența de rezonanță a traductorului electroacustic (tipic 2,4-2,5GHz) ajunge în antena transponderului, se produce SAW în traductorul interdigital. Unda elastică se propagă pe suprafața cristalului și se reflectă pe metalizările reflectorilor, revenind spre traductor. Reflexiile sunt sub formă de trenuri de unde elastice, fiecare tren corespunzând câte unui reflector. Când un tren de SAW reflectate ajunge în traductor, se produce conversia în undă electrică care se aplică apoi antenei, devenită unda emisă. Unda electromagnetică emisă astfel poate fi ușor captată de cititor.

Trenurile de unde reflectate revin în antenă după intervale de timp variate în funcție de distanța traductor – reflector, reprezentând așadar un șir de impulsuri modulate (codate) în timp (PTM – Pulse Time Modulation)

Distanța traductor – reflectori (d) este de ordinul milimetrilor ($d = 3 \dots 10\text{mm}$). Ca urmare, prima reflexie revine la cititor după un timp $\Delta t \approx 2d/v_{\text{SAW}}$ (v_{SAW} - viteza de propagare a undei). Pentru $d \approx 3 \dots 10\text{mm}$ și $v_{\text{SAW}} \approx 3000\text{m/s}$ rezultă $\Delta t \approx 2 \dots 7\mu\text{s}$. Acest timp este mult mai mare decât timpul după care în antena cititorului pot ajunge unde reflectate pe obstacole (de la 100m, unda reflectată ajunge după $2 \times 100 / 3 \cdot 10^8 = 0,7\mu\text{s}$).

Astfel, semnalele utile ajung în antena cititorului mult timp după ce toate reflexiile nedorite s-au epuizat de mult.

Se observă că, prin chiar principiul de funcționare, acest tip de sistem RFID este secvențial.

Numărul de reflectori nu poate fi prea mare (10 ... 40) – se pot deci stoca și transmite cam 16 – 32 biți; scrierea în transponder nu este posibilă.

3.2.5 Procedura secvențială

- Procedura secvențială de comunicare între cititor și transponder (sequential – SEQ) presupune realizarea transmisiilor și a alimentării cu energie în secvențe (intervale) de timp:
- într-un interval de timp se execută transmisia *dinspre cititor spre transponder*, se trimit date și se alimentează cu energie transponderul;
- în următorul interval de timp, se execută transmisia *dinspre transponder spre cititor*, pe seama energiei acumulate dar adesea și a energiei de la o baterie proprie.

Cele trei procedee utilizate in prezent sunt prezentate sintetic în tabelul de mai jos.


Procedeu							
HDX							
alimentare cu energie							
cititor ==> transponder							
transponder ==> cititor							
FDX							
alimentare cu energie							
cititor ==> transponder							
transponder ==> cititor							
SEQ							
alimentare cu energie							
cititor ==> transponder							
transponder ==> cititor							

4. Standardizarea în domeniul sistemelor RFID

Un mare efort de standardizare s-a depus în ultimii 10 ani, pentru reglementarea sistemelor RFID, lucru normal dată fiind răspândirea explozivă a acestora și necesitatea de a funcționa fără a se perturba reciproc (mai mult decât este inevitabil!).

Dezvoltarea standardelor s-a făcut sub directă coordonare a ISO (International Organization for Standardisation), prin comitetele tehnice de specialitate. Practic, toate organizațiile de standardizare statale (precum STAS în România), își elaborează și adaptează reglementările locale după standardele ISO.

Standardele ISO în domeniul RFID pot fi grupate în mai multe categorii:

- Standarde ISO referitoare la marcarea și identificarea prin radio a animalelor.
 - Standarde ISO referitoare la cardurile inteligente fără contacte (contactless smart cards) utilizate ca și carduri bancare.
 - Standarde ISO referitoare la marcarea și identificarea containerelor.
 - Standarde ISO pentru marcarea uneltelor și dispozitivelor de strângere.
 - Standarde ISO referitoare la sistemele RFID antifurt.
 - Standarde ISO referitoare la managementul articolelor.
- 
- A stylized, dark teal silhouette of a mountain range is positioned in the bottom right corner of the slide, partially overlapping the text area.

a) Standarde ISO referitoare la marcarea și identificarea prin radio a animalelor

Sistemele RFID utilizate pentru identificarea animală trebuie să respecte următoarele standarde după cum urmează:

- ISO 11784 – Identificare prin radio-frecvență a animalelor – Structura codului;
- ISO 11784 – Identificare prin radio-frecvență a animalelor – Conceptul tehnic;
- ISO 11784 – Identificare prin radio-frecvență a animalelor –Transpondere avansate (Partea 1: Interfață prin aer; Partea 2: Structura codului și a comenzii; Partea 3: Aplicații)

Întrucât formele constructive ale transponderelor utilizate nu sunt specificate în standarde, atunci acestea pot avea un design care să corespundă animalul ce urmează a fi identificat. Un transponder de mici dimensiuni poate fi introdus într-o capsulă din sticlă sterilă, ce poate fi injectată în țesutul gras al animalului și este utilizat, de regulă, pentru identificarea în special a cabalinelor. Sunt utilizate și variante de tag-uri prinse în ureche, sau sub formă de zgardă.

b) Standarde ISO referitoare la cardurile inteligente fără contacte (contactless smart cards) utilizate ca și carduri bancare.

Există la ora actuală trei standarde diferite pentru cartele smart după cum se poate remarca în tabel:

Standard	Tipul de cartelă	Raza de acțiune
ISO 10536	Cu cuplaj strâns	0÷1 cm
ISO 14443	Cu cuplaj de proximitate	0÷10 cm
ISO 15693	Cu cuplaj de vecinătate	0÷1 m

Standardul ISO 10536, denumit și *Cartele de identificare – cartele cu circuite integrate fără contact*, descrie structura și parametrii de operare a cartelelor smart, fără contact cuplate strâns (cuplaj electric) cu cititorul.

Acest standard conține următoarele secțiuni: Partea 1: Caracteristici fizice; Partea 2: Dimensiunile și locația ariei de cuplare ;Partea 3: Semnale electronice și procedurile de resetare; Partea 4: Răspuns la semnalul de reset și proceduri de transmisie.

Standard ISO14443, denumit și *Cartele de identificare – Cartele cu circuite integrate de proximitate*, descrie metoda și parametrii de operare ai cartelelor smart de proximitate, fără contact. Cartelele smart fără contact sunt active în raza 7÷15 cm și sunt utilizate predominant în domeniul etichetării. Purtătorul de informație al acestei cartele smart este, de regulă, un microprocesor și acesta, în marea majoritate a cazurilor, are contacte suplimentare.

Acest standard cuprinde următoarele părți: Partea 1: Caracteristici fizice; Partea 2: Reglementări asupra radiofrecvenței; Partea 3: Inițializarea și anticoliziunea; Partea 4: Protocoale de transmisie.

Denumit și *Cartele de identificare – Cartele cu circuite integrate de vecinătate*, **standardul ISO 15693** descrie metoda de funcționare și parametrii de operare ale cartelelor smart fără contact de vecinătate.

Aceste cartele au raza de acțiune de până la 1 m și sunt utilizate la sistemele pentru controlul accesului. Purtătorul de informație al acestui tip de cartele este cu precădere un modul de memorie ieftin.

Standardul este împărțit în patru părți:

Partea 1: Caracteristici fizice

Partea 2: Reglementări asupra radiofrecvenței

Partea 3: Protocoale

Partea 4: Înregistrarea aplicațiilor/distribuitorilor

c) Standarde ISO referitoare la marcarea și identificarea containerelor

Standardul utilizat pentru identificarea containerelor este ISO 10374. Acest standard descrie sistemele de identificare automată a containerelor bazate pe transpondere ce lucrează în domeniul microundelor. Identificarea optică a containerelor este descrisă în standardul ISO 6346. Transponderele utilizate (active) pot fi activate de un semnal purtător nemodulat, cu frecvența în domeniul 850÷950 MHz sau în domeniul 2400÷2500 MHz.

d) *Standarde ISO pentru marcarea uneltelor și dispozitivelor de strângere*

Standardul utilizat în acest domeniu este ISO 69873.

e) *Standarde ISO referitoare la sistemele RFID antifurt*

În acest domeniu se folosește standardul VDI 4470. Acest standard este un ghid ce prezintă modalități practice de inspecție și testare a sistemelor instalate pentru EAS. Sunt prezentate definiții și procedurile de testare pentru verificarea parametrilor decisivi ai sistemului: *rata de alarme false* și *rata de detecție*. Standardul introduce termenul *alarmă falsă* este utilizat atunci când alarma nu este declanșată de un de tag de securitate, și parametrul *rata de detecție* - raportul dintre numărul de alarme și numărul total de tag-uri active.

f) Standarde ISO referitoare la managementul articolelor.

Dintre standardele relevante în domeniu enumeram:

- **ISO 15961**: "RFID pentru managementul articolelor: cititorul, comenzile funcționale pentru etichete și sintaxă"
- **ISO 15962**: "RFID pentru managementul articolelor: sintaxa datelor"
- **ISO 15963**: "Identificarea unică a etichetelor RF și Autoritatea de înregistrare și acordare a identificatorilor unici"
- integrate
- **ISO 18000**: "RFID pentru managementul articolelor: interfața în aer"
- **ISO 18001**: "Tehnologia informației – RFID pentru managementul articolelor – cerințe de aplicații"