

**Introducere in
modelarea numerica a
dispozitivelor utilizate
in inalta frecventa**



Proiectarea dispozitivelor electrice si electronice de inalta frecventa

Curs-test grilă cu
întrebări multiple

**E: 40 % din
nota finală**

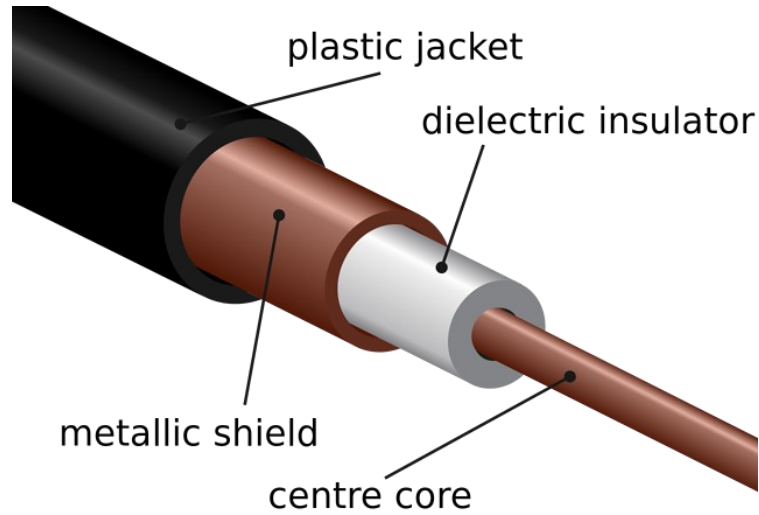
Laborator - test de
laborator-modelarea
unui dispozitiv dat

**A: 50 % din
nota finală**

N=0,4 E+0,5 A+1

Curs

• Cabluri coaxiale



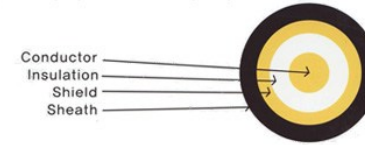
High-Frequency Coaxial Cable

USE

The PE insulating copper net arganjing a PVC covered cable, after insulating electrical connection with PE used for the connection of high frequency equipment, inner wiring urgent cables, and argnjizing cable with lead and copper.

CONSTRUCTION

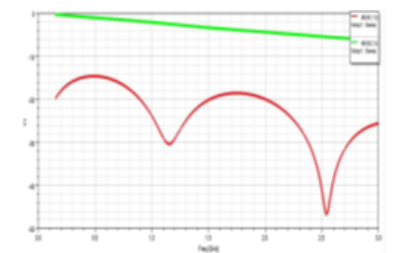
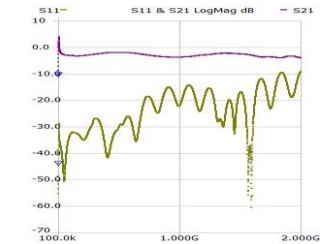
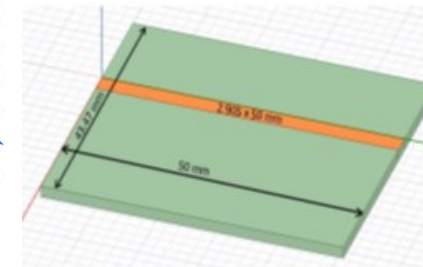
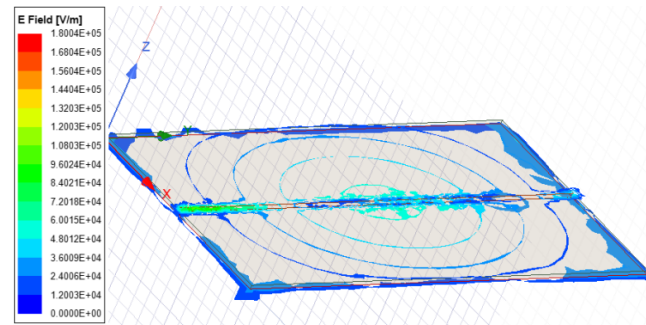
Conductor : Annealed Copper Wire
 Insulation : PE
 Shield : Braid Shield
 Sheath : PVC



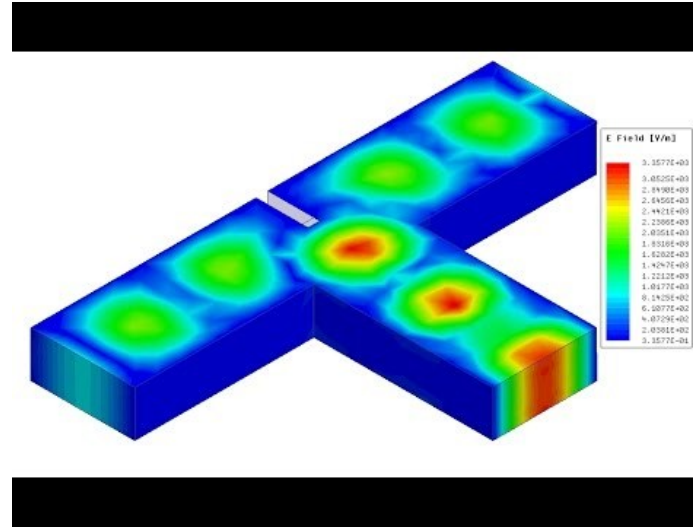
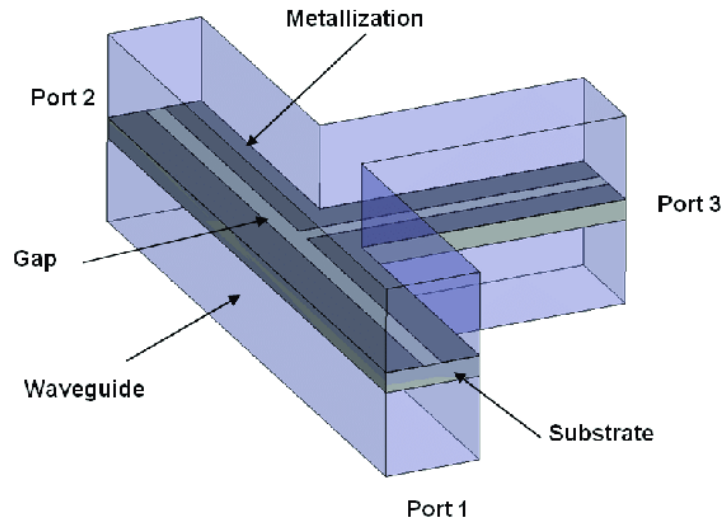
KSC : 3610

Class	Conductor		Insulation		Outside Conductor				PVC Sheath Thickness (mm)	Approx Overall Diameter (mm)	Max. Conductor Resistance at 20°C Nw - km	Test Voltage V	Capacitance nF/km	Standard N/km	Approx. Weight kg/km	Standard Length kg/km
	Number & Diameter of Wire (mm)	Outer Diameter (mm)	Thickness (mm)	Outer Diameter (mm)	Number & Dia. of Wire (mm)	No. of wire	No. of Strand	Outer Diameter (mm)								
3C-2V	1/0,5	0,05	1,3	3,1	0,14	5	24	3,8	0,8	5,4	91,4	1000	69±3	42	42	200
5C-2V	1/0,8	0,54	2,05	4,9	0,14	7	24	5,6	0,9	7,4	35,9	1000	69±3	27	74	200
7C-2V	7/0,4	0,8	3,05	7,3	0,18	8	24	8,2	1,1	10,4	20,7	1000	69±3	22	140	200
10C-2V	7/0,5	1,2	3,95	9,4	0,2	10	24	10,6	1,3	13	13,1	1000	69±3	18	220	200

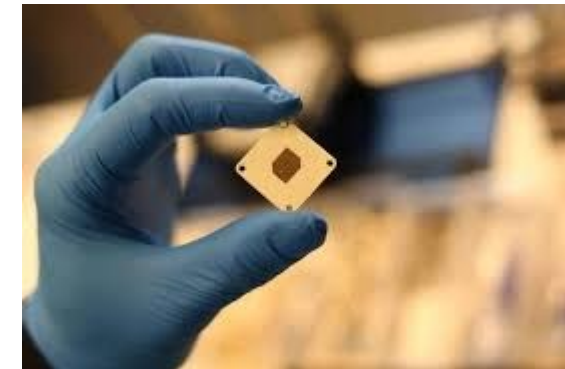
• Microstrip-uri



- Jonctiuni in T



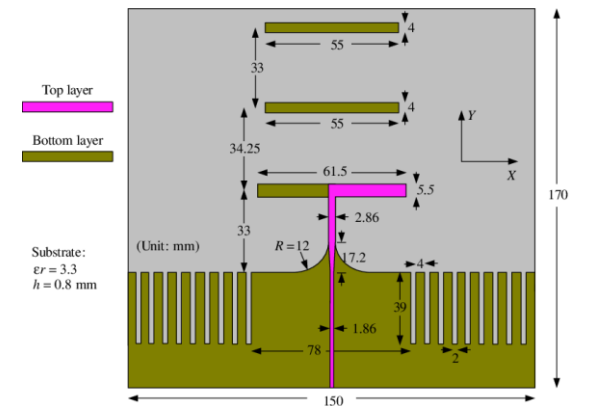
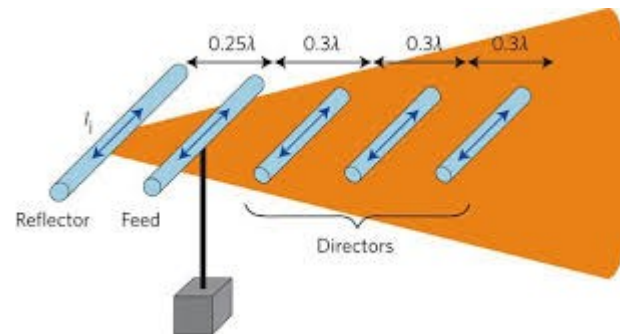
- Modelarea antenelor microstrip. Moduri de alimentare , forme si dimensiuni



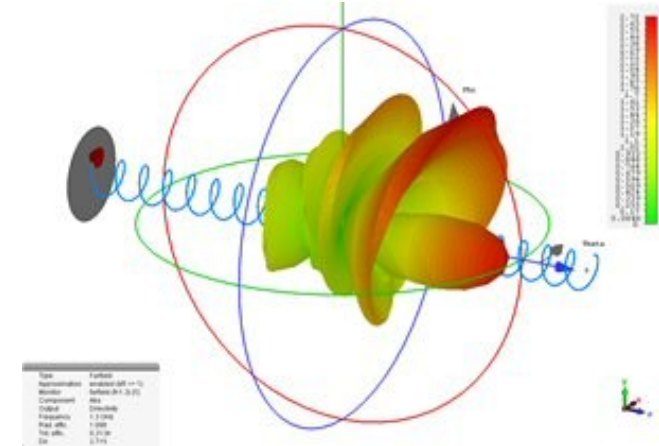
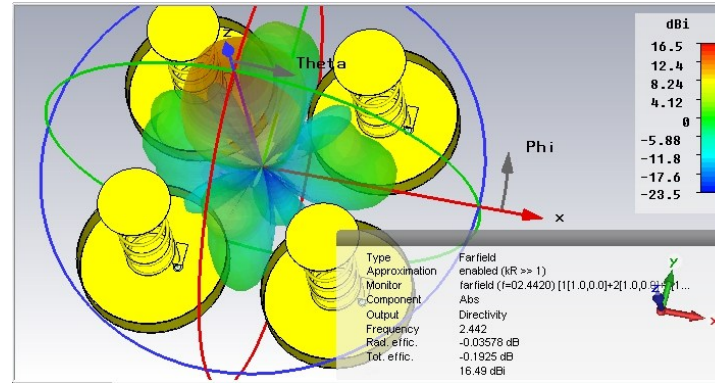
- Antene de tip dipol și monopol



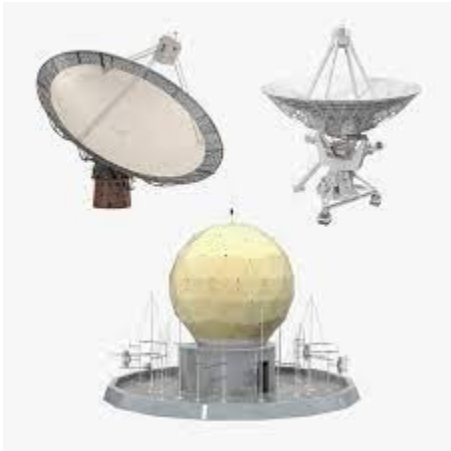
- Antene Yagi Uda



- Antene helix



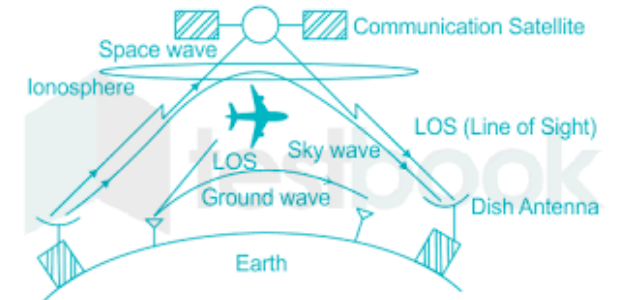
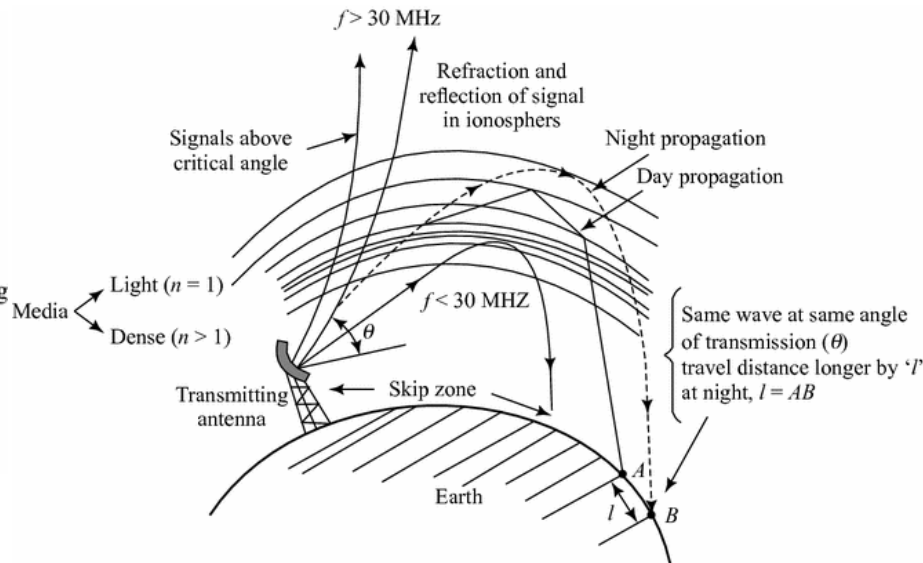
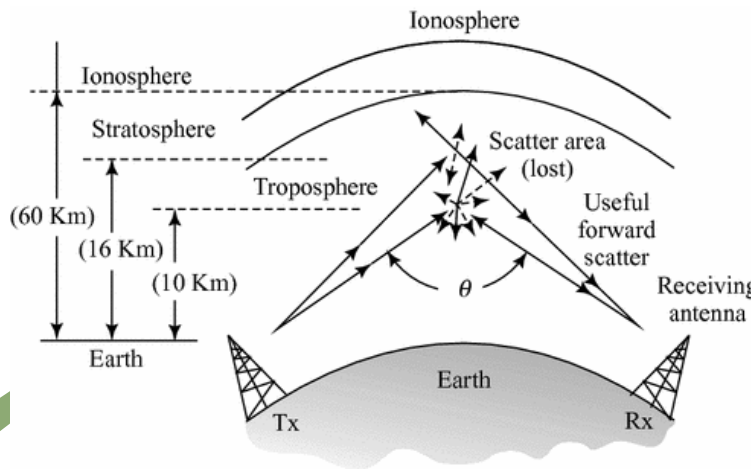
- Antene de tip RADAR



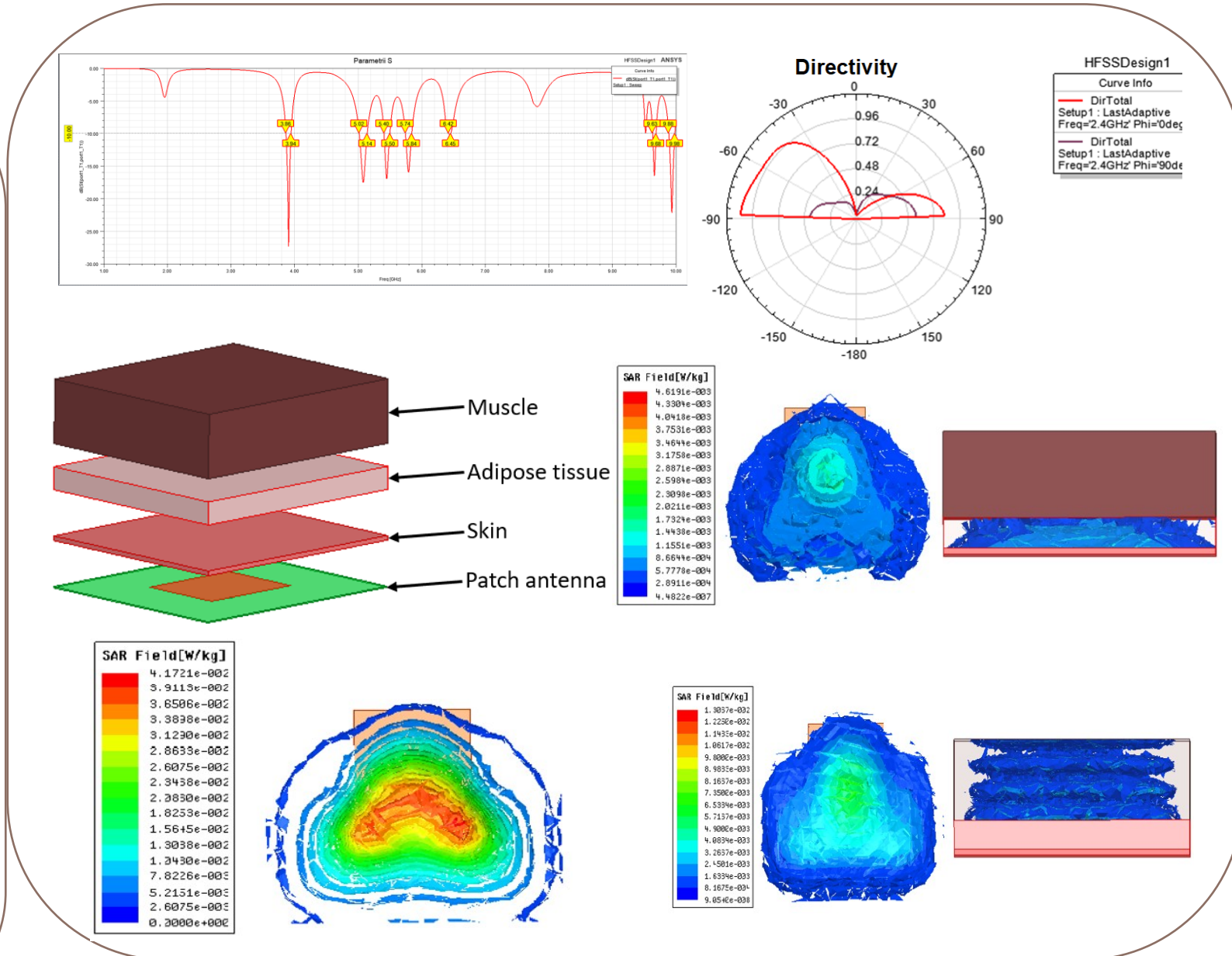
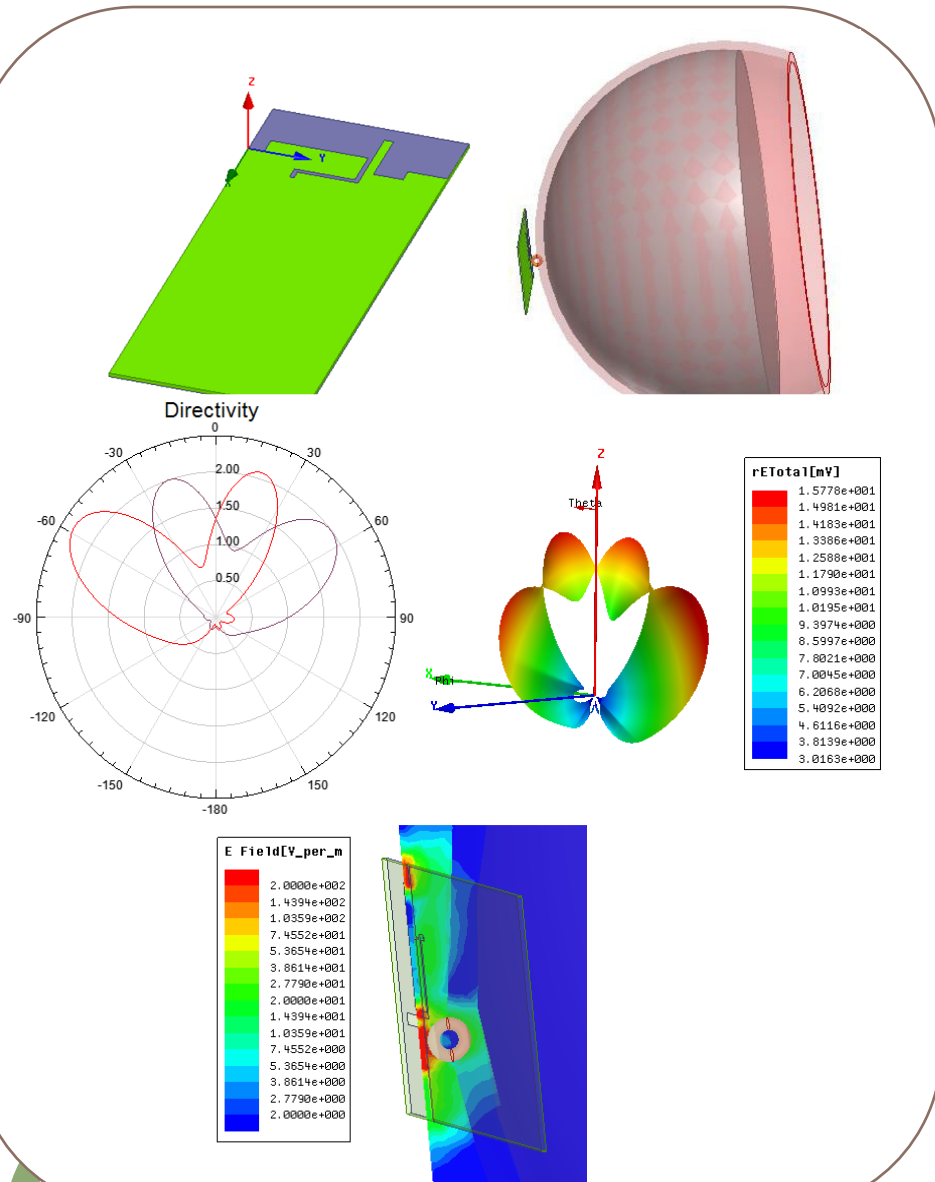
- Antene horn speciale



- Propagarea microundelor in spatiu




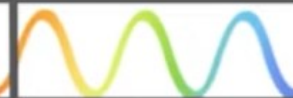





• Modelarea caracteristicilor corpurilor vii in programele de modelare numerica



Ce înseamnă înaltă frecvență?

- Toate domeniile de frecvență începând de la 2-3 MHz

RADIO WAVES	MICRO WAVES	INFRA RED	VISIBLE LIGHT	ULTRA VIOLET	X - RAYS	GAMMA RAYS
$10^4\text{m} - 1\text{m}$	10^{-2}m	10^{-5}m	10^{-7}m	10^{-8}m	10^{-10}m	10^{-15}m
						

Ce programe de modelare în înaltă frecvență există?



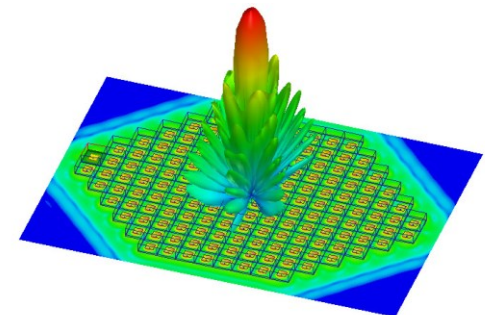


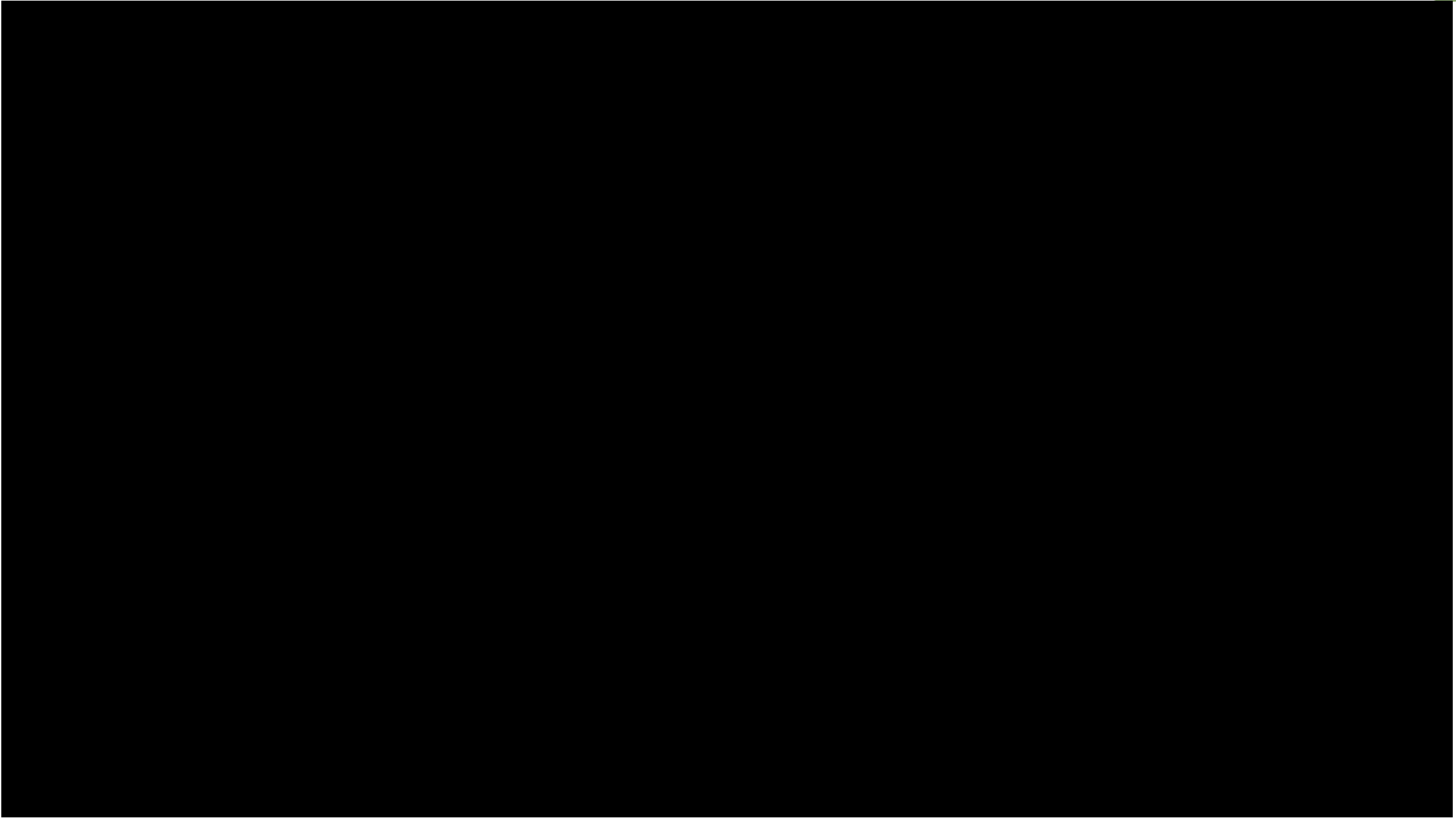
HFSS

- Este unul dintre cele mai populare unelte folosite la modelarea numerică a dispozitivelor în înaltă frecvență
- Ansys HFSS este un software de simulare electromagnetică (EM) 3D pentru proiectarea și simularea produselor electronice de înaltă frecvență, cum ar fi antene, rețele de antene, componente RF sau microunde, interconexiuni de mare viteză, filtre, conectori, pachete IC și plăci de circuite imprimate. Inginerii din întreaga lume folosesc software-ul Ansys HFSS pentru a proiecta electronice de înaltă frecvență, de mare viteză, care se găsesc în sistemele de comunicații, sistemele avansate de asistență pentru șofer (ADAS), sateliții și produsele Internet-of-things (IoT).

Caracteristici

- HFSS este instrumentul EM principal pentru cercetare și dezvoltare și prototipuri de design virtual. Reduce timpul ciclului de proiectare și crește fiabilitatea și performanța produsului
- Analiza EMI/EMC
- Interferențe de radiofrecvență (RFI) în medii complexe
- Antena instalată și analiza RF
- Analiza sistemelor și circuitelor RF
- Analiza integrității semnalului și puterii

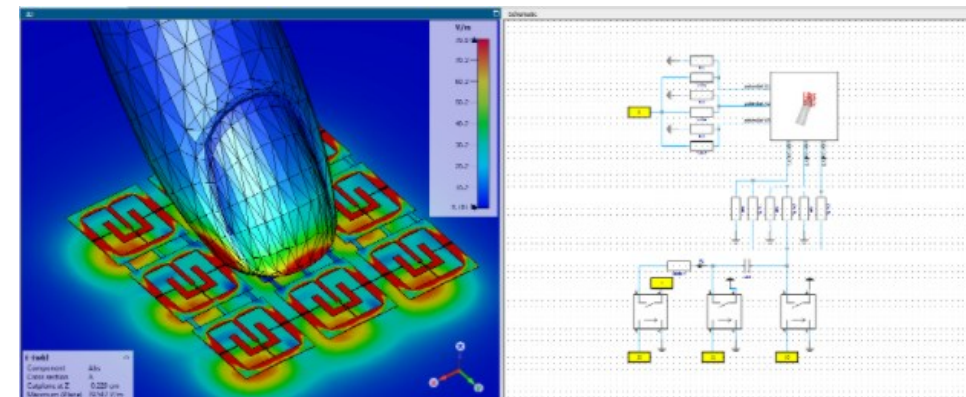
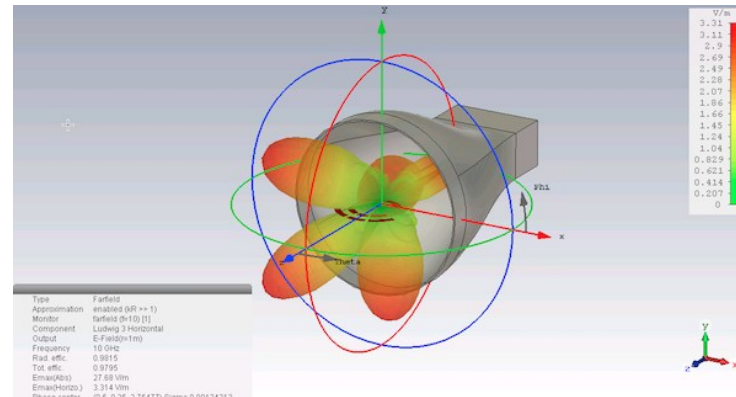
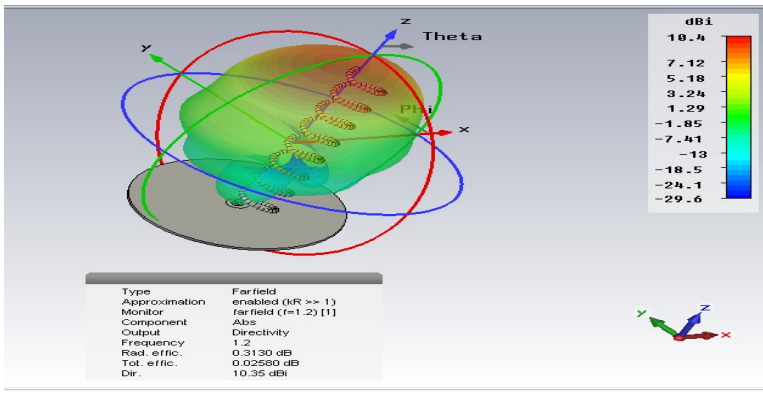
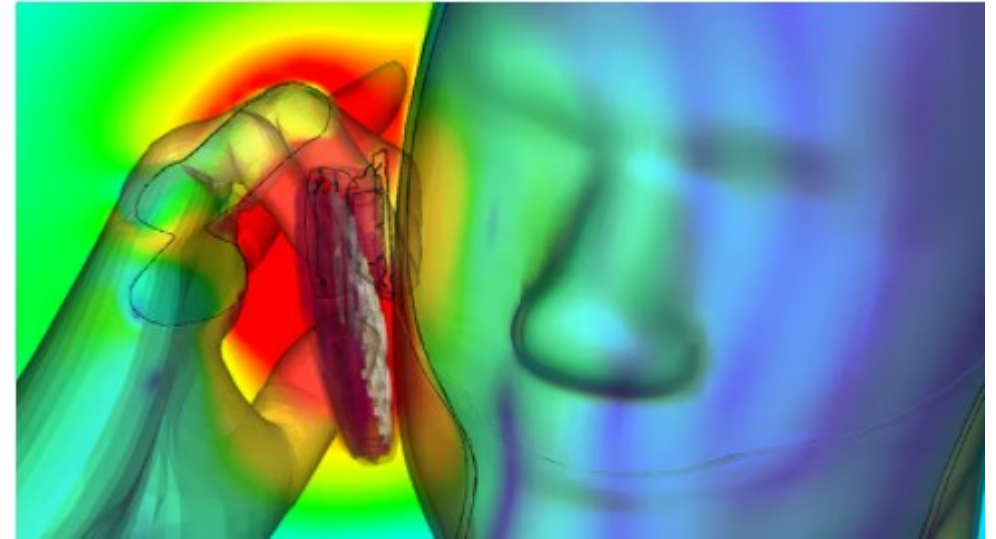






CST Microwave Studio

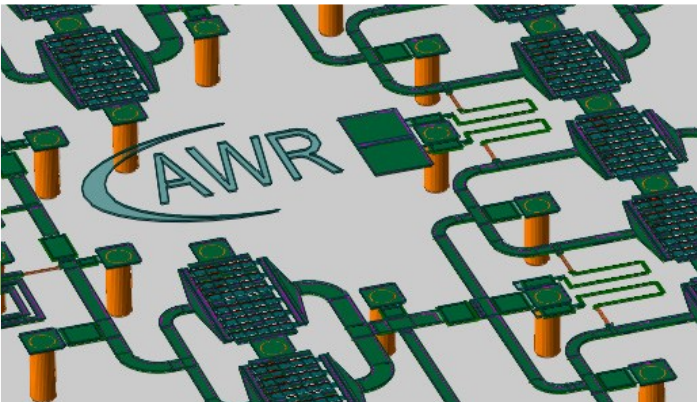
- CST Microwave Studio este și el foarte folosit pentru simularea antenelor, filtrelor, cuplorilor și a structurilor planare și multistrat, konkurând cu HFSS pe piață
- Suita software, care conține atât soluții de frecvență, cât și de timp, sunt vândute de Computer Simulation Technology, pe care conglomeratul de software Dassault Systèmes l-a achiziționat de curând



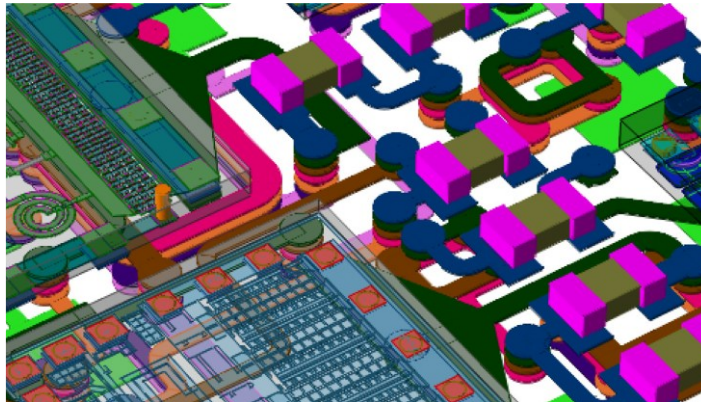
cādence® AWR Microwave Office

- Aceasta suită de programe vândută de o unitate a National Instruments, este utilizată pe scară largă pentru proiectarea circuitelor și analizarea unei multitudini de aplicații, de la amplificatoare la mixere și antene.
- Acest program are atât instrumente de analiză electromagnetică planară, cât și analiză 3D
- Ca și aplicații avem: MMIC (monolithic microwave integrated circuit), PCB (Printed Circuit Board), module

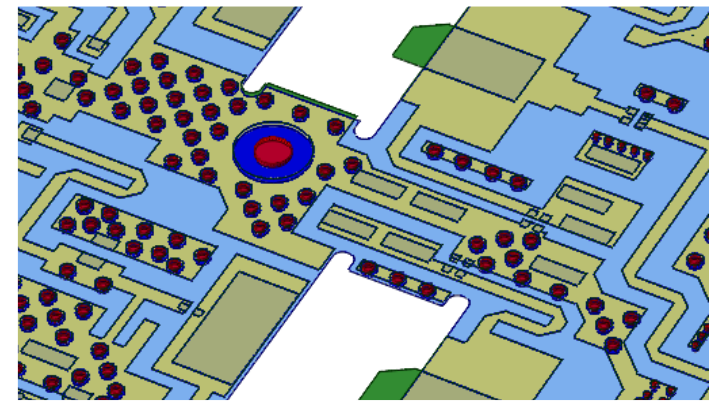
MMIC



PCB

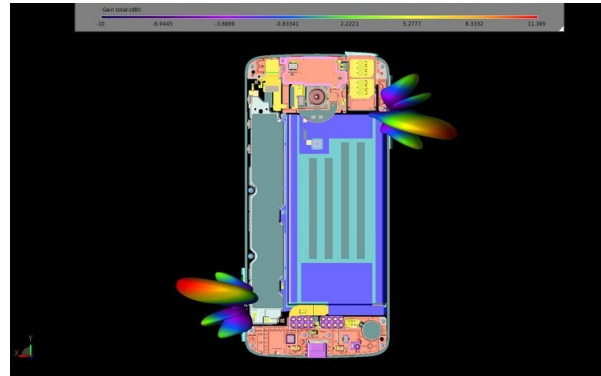
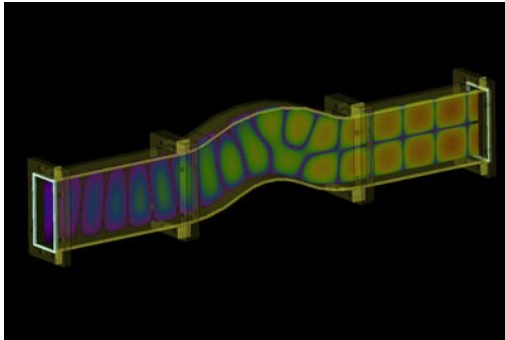


Module

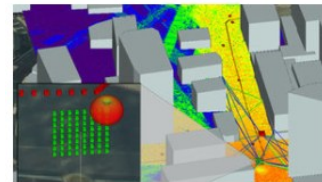
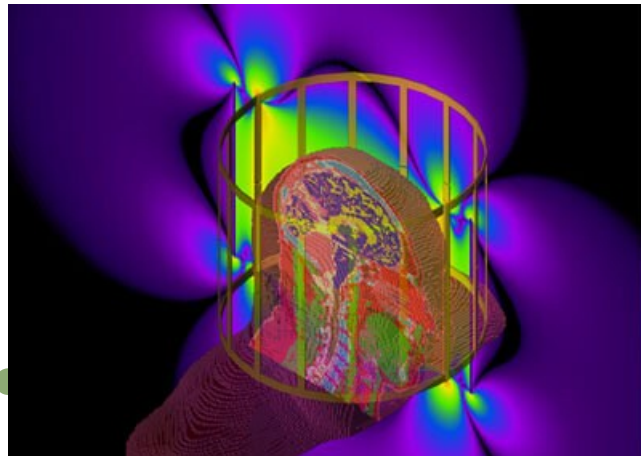




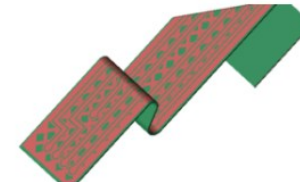
XFDTD 3D Electromagnetic Simulation Software



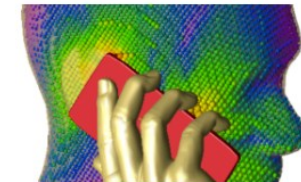
Wind Turbine



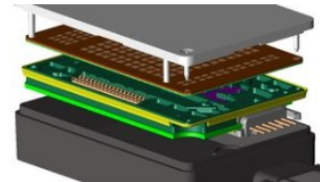
5G MIMO



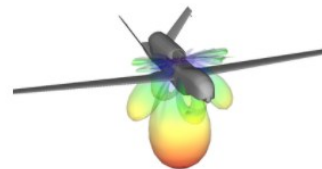
Antenna Design



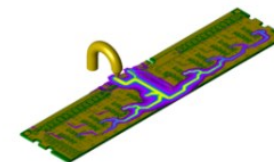
Mobile Device



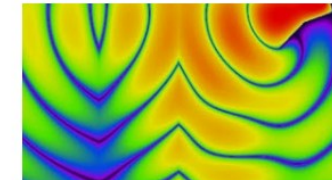
Automotive Radar



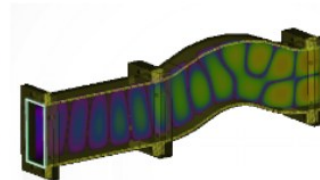
Antenna Placement



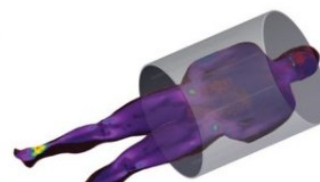
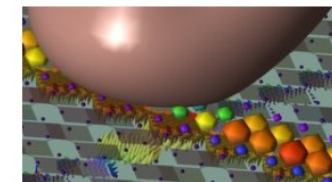
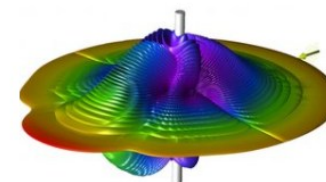
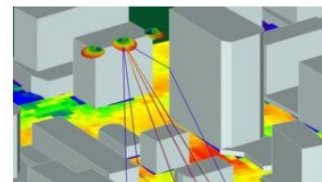
ESD Testing



Metamaterials



Microwave

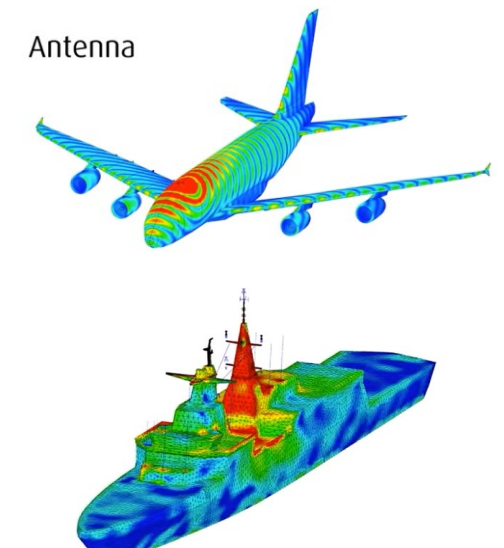
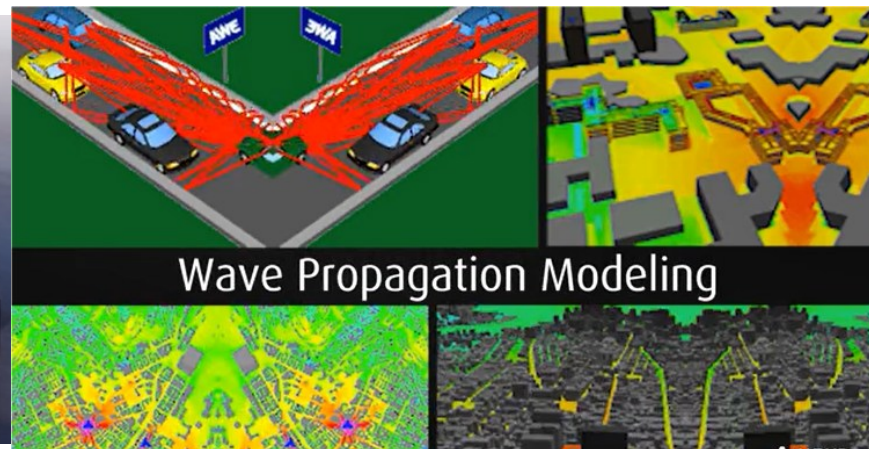




Empire XPU

- Un alt program de modelare electromagnetă folosind metoda FDTD (finite difference time domain)
- Instrumentul folosește un algoritm unic de generare de cod adaptiv pentru a analiza circuite plane, multistrat și conforme, precum și pachete multi-pin și ghiduri de undă, în câteva minute.
- Folosește platforma de cloud computing a Amazon.

- Acest software se încadrează în categoria instrumentelor care analizează câmpurile electromagnetice care apar din structuri electrice mari, cum ar fi avioanele și navele.
- În ultimii ani, software-ul a fost îmbunătățit cu soluții mai rapide, capacități de meshing și capacitatea de a rula simulări consistente folosind GPU-uri și cluster de calcul de înaltă performanță.
- La început soluțiile erau obținute cu MoM, dar în ultimii ani a adăugat o gamă largă de alți algoritmi - inclusiv FEM și FDTD - care pot fi schimbate la diferite etape ale procesului de simulare.

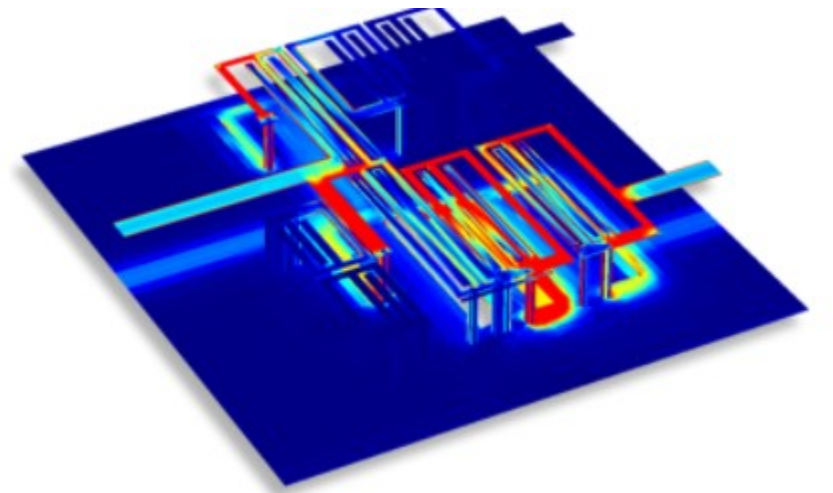
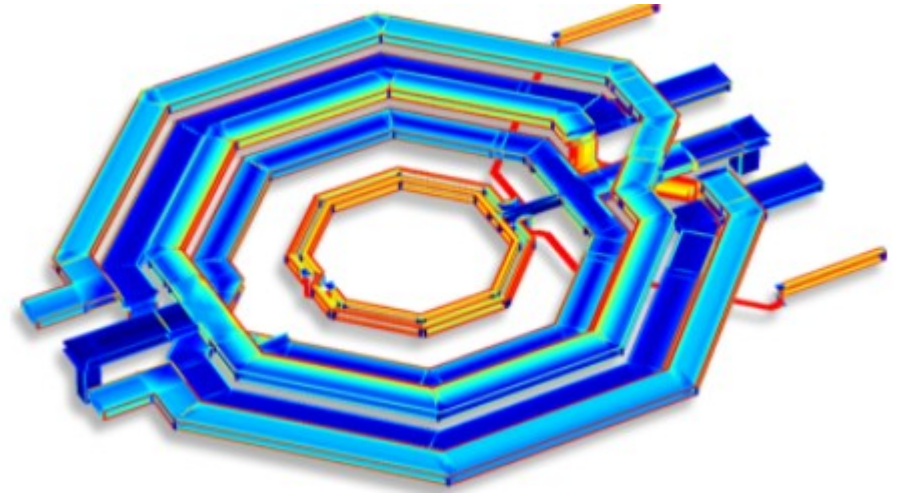




PRECISION ELECTROMAGNETICS

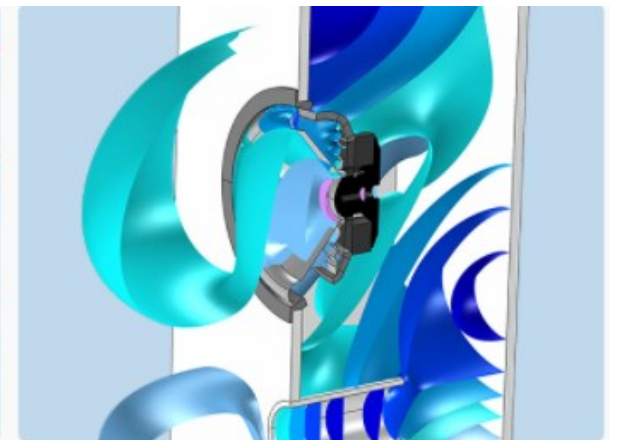
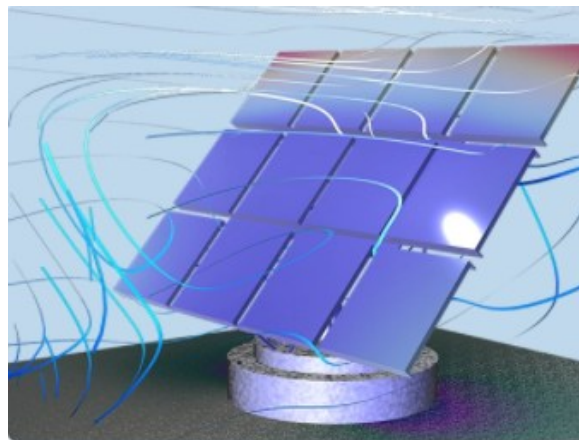
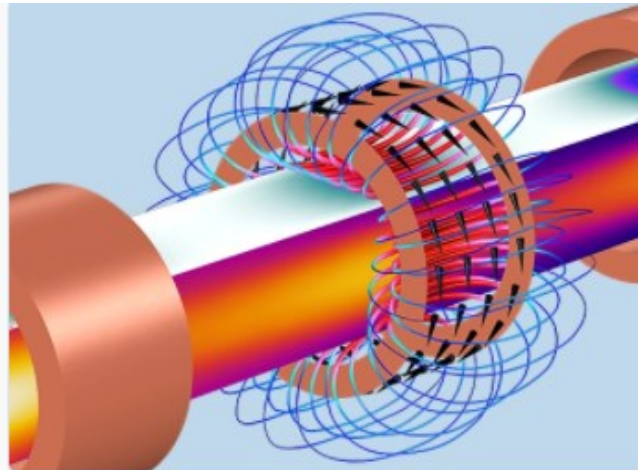
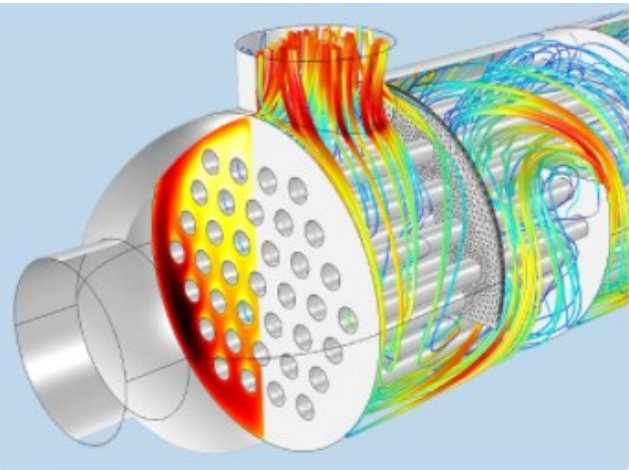
Sonnet Software

- Sonnet susține că software-ul său pentru structuri planare poate modela o eroare de extracție mai mică de 1% sau mai puțin pentru circuite, antene și plăci de circuite imprimate.
- Suita de software Sonnet include atât simulatoare de circuite în domeniul timpului, cât și al frecvenței.
- Compania, cu sediul în Syracuse, N.Y., poate lua în considerare efectele materialelor dielectrice și finisajele suprafeței conductorilor, prezicând cu precizie efectele de cuplare și pierderile pentru liniile de transmisie comune, inclusiv microstrip și stripline.



COMSOL Comsol Multiphysics

- Cea mai recentă versiune conține o bibliotecă de modele standard de piese care pot fi partajate și modificate cu ușurință
- Modulul RF al Comsol poate efectua simulări asupra efectelor termice în filtrele din domeniul microundelor, căilor semnalului în antenele wireless și interferențelor în liniile de transmisie
- Pe lângă efectuarea testelor de compatibilitate electromagnetică, poate simula structuri 2D și 3D grefate pe mașini și avioane



Tehnici de modelare

Integral Equations (IE) rezolvate cu :

- Method of Moments (MoM),
- Finite Elements (FE)
- Finite Differences in the Time Domain (FDTD)
- Finite Integration Technique (FIT)

Method of Moments (MoM)

- **Method of Moments (MoM)** este o metodă numerică folosită în special în electromagnetism computațional pentru a rezolva ecuații integrale (de tipul celor derivate din ecuațiile lui Maxwell). Este utilizată frecvent pentru analiza: antenelor, structurilor radiante, liniilor de transmisie, suprafețelor conductoare și dielectrice, problemelor de împrăștiere (scattering)

Etape:

- Se pornește de la o ecuație integrală (de exemplu, pentru curenții de pe o antenă).
- Curentul necunoscut este aproximat ca o combinație liniară de funcții de bază cunoscute.
- Se aplică o procedură de „ponderare” (momente) pentru a transforma ecuația continuă într-un sistem algebric liniar.
- Sistemul este rezolvat numeric → se obțin coeficienții → se reconstruiește soluția.
- Programe de modelare care utilizează MoM: FEKO, HFSS, CST

The Finite Element Method (FEM)

- Metoda Elementelor Finite (FEM) este o tehnică numerică utilizată pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale parțiale și pentru analiza comportamentului structurilor și materialelor. A fost dezvoltată pentru prima dată în anii 1940 și a devenit una dintre cele mai utilizate metode de analiză în domeniul ingineriei și științelor aplicate. Iată câteva informații cheie despre metoda FEM:
- **Principiu de Funcționare:**
 - FEM împarte un obiect analizat (de exemplu, o structură sau un material) în porțiuni mai mici, numite elemente finite.
 - Aceste elemente finite sunt interconectate într-un mod specific pentru a forma o reprezentare discretă a obiectului.
 - Se aplică ecuațiile matematice care descriu comportamentul fizic al obiectului asupra acestor elemente finite.
- **Elemente Finite:**
 - Elementele finite pot fi de diverse forme, cum ar fi triunghiuri sau patrulatere în analiza bidimensională, sau tetraedre și hexaedre în analiza tridimensională.
 - Caracteristicile geometrice și proprietățile materiale ale acestor elemente sunt definite pentru a reflecta cât mai fidel comportamentul real al obiectului.
- **Aplicații:**
 - Metoda FEM este utilizată într-o varietate de domenii, inclusiv ingineria structurală, analiza termică, analiza fluidelor, electromagnetism, biomecanică și multe altele.
 - Este folosită pentru a optimiza proiectele și a îmbunătăți performanța structurală a diferitelor componente sau sisteme.
- **Software:**
 - Există numeroase programe software specializate care implementează metoda FEM, cum ar fi ANSYS, Abaqus, COMSOL Multiphysics și HFSS. Aceste instrumente facilitează aplicarea metodei FEM în practică.
 - Metoda FEM este o unealtă puternică și versatilă pentru analiza și proiectarea în domeniul ingineriei și științelor aplicate. Ea permite inginerilor și cercetătorilor să obțină o înțelegere detaliată a comportamentului structural și a altor fenomene fizice în diferite contexte.
- Prima lucrare unde se urmărea aplicarea FEM la problemele ce țin de domeniul electric a apărut în 1968
- FEM este în mod normal formulat în domeniul frecvenței, adică pentru probleme cu variație în timp. Aceasta înseamnă că, precum pentru IE-MoM, soluția trebuie calculată pentru fiecare frecvență de interes.
- În ingineria electrică, metoda Elementelor Finite (FEM) este adesea utilizată pentru a analiza și rezolva probleme legate de câmpurile electrice, magnetice și termice

The Finite-Difference Time-Domain technique (FDTD)

- Metoda Finite-Difference Time-Domain (FDTD) este o tehnică numerică utilizată în ingineria electrică pentru analiza câmpurilor electromagnetice în timp real. Aceasta este o metodă de simulare a ecuațiilor diferențiale parțiale, inclusiv ecuațiile lui Maxwell, care descriu comportamentul undelor electromagnetice
- Natura ecuațiilor diferențiale ale lui Maxwell este că derivata în timp a câmpului H depinde de curba câmpului E, iar derivata în timp a câmpului E este dependentă de bucla câmpului H.
- Aceste proprietăți de bază au ca rezultat relația de bază FDTD, că în orice punct din spațiu, o valoare actualizată a unui câmp E/H în timp depinde de valoarea stocată a câmpului E/H și curba numerică a distribuției locale a câmpului H/E în spațiu.
- Traducerea numerică într-un algoritm a fost introdusă de Yee în 1966.
- Mai precis, Yee a propus o schemă de salt pentru a avansa în timp în care câmpul E și actualizările câmpului H sunt eșalonate, astfel încât actualizările câmpului E să fie observate la jumătatea cursului fiecărui pas de timp dintre actualizările succesive ale câmpului H și invers. Partea bună este că această schema explicită de trecere în timp evită necesitatea de a rezolva ecuații simultane. Partea mai puțin plăcută este că schema are o limită pozitivă a pasului de timp pentru a asigura stabilitatea numerică. Aceasta înseamnă că simulările poate necesita multe mii de pași de timp pentru finalizare.
- FDTD este extrem de versatilă, deoarece interacțiunea unei unde electromagnetice cu materia poate fi mapată în rețeaua spațială prin atribuirea de valori adecvate de permitivitate fiecărei componentă a câmpului electric și permeabilitatea la fiecare componentă a câmpului magnetic.

• O implementare foarte eficientă a tehnicii FDTD poate fi găsită în instrumentul comercial Empire, dar și CST Studio

The Transmission Line Matrix method (TLM)

- Metoda TLM (Transmission Line Matrix) este o tehnică numerică utilizată în ingineria electrică pentru simularea și analiza comportamentului circuitelor electrice și a câmpurilor electromagnetice. Această metodă este bazată pe ideea reprezentării circuitelor și câmpurilor sub forma unui sistem de linii de transmisie interconectate. Iată câteva informații despre metoda TLM:
- **Reprezentarea Sub Forma de Linii de Transmisie:**
 - În metoda TLM, circuitul sau domeniul spațial este discretizat și reprezentat sub forma unei rețele de linii de transmisie interconectate.
 - Fiecare linie de transmisie reprezintă o porțiune mică a circuitului sau spațiului în care se analizează comportamentul undelor electromagnetice.
- **Tratarea Semnalelor pe Linii de Transmisie:**
 - Semnalele sunt propagate de-a lungul liniilor de transmisie și sunt analizate în funcție de impedanța și admisibilitatea caracteristică a fiecărei linii.
 - Se iau în considerare reflexiile, transmisiile și pierderile în timpul propagării semnalelor pe liniile de transmisie.
- **Simularea Circuitelor Electrice și Câmpurilor Electromagnetice:**
 - Metoda TLM este folosită pentru simularea și analiza circuitelor electrice în frecvența domeniului timpului.
 - De asemenea, este aplicată pentru rezolvarea ecuațiilor lui Maxwell pentru analiza câmpurilor electromagnetice.
- **Simularea Dispozitivelor Electrice:**
 - Este eficientă în simularea comportamentului dispozitivelor electrice complexe, precum circuite integrate, linii de transmisie, antene și alte componente.
 - Este folosită în proiectarea și analiza sistemelor de comunicații, inclusiv circuite RF, amplificatoare și alte componente radio.

The Finite Integration Technique (FIT)

- Finite Integration Technique (FIT) este o tehnică numerică utilizată în domeniul electromagnetismului și ingineriei electrice pentru a rezolva ecuațiile lui Maxwell în contextul simulărilor numerice. Această metodă a fost dezvoltată pentru a aborda problemele de analiză a câmpurilor electromagnetice și a interacțiunilor acestora cu diferite medii și introdusă de Weiland în 1977.
- **Baza Matematică:**
 - FIT se bazează pe discretizarea ecuațiilor lui Maxwell și pe utilizarea unor scheme de diferențe finite pentru a rezolva aceste ecuații într-un mod numerico-computațional.
- **Implementarea Integrală a Legilor Electromagnetice:**
 - FIT efectuează o implementare integrală directă a legilor electromagnetice și rezolvă simultan componente ale câmpurilor electrice și magnetice în spațiu și timp.
- **Reprezentarea în Celule Finite:**
 - Spațiul este discretizat într-o rețea de celule finite, iar câmpurile sunt calculate în fiecare punct al acestor celule în funcție de ecuațiile lui Maxwell.
- **Eficiență Pentru Structuri Complexe:**
 - Este eficientă în analiza structurilor complexe sau a dispozitivelor, cum ar fi antene, circuite integrate, componente optice și altele.
- FIT poate fi astfel considerată o generalizare puternică a tehnicii FDTD.
- Un instrument software care folosește FIT și este foarte răspândit este CST Microwave Studio.