



Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

# CIRCUITE INTEGRATE MONOLITICE DE MICROUND

*curs 1*

Ș.L. dr. ing. Iov J. Cătălin

# CUPRINS



DOMENIUL  
MICROUNDELOR



APLICAȚII ALE  
TEHNOLOGIILOR  
DE MICROUNDE



EVOLUȚIA  
ISTORICĂ

# Domeniul microundelor

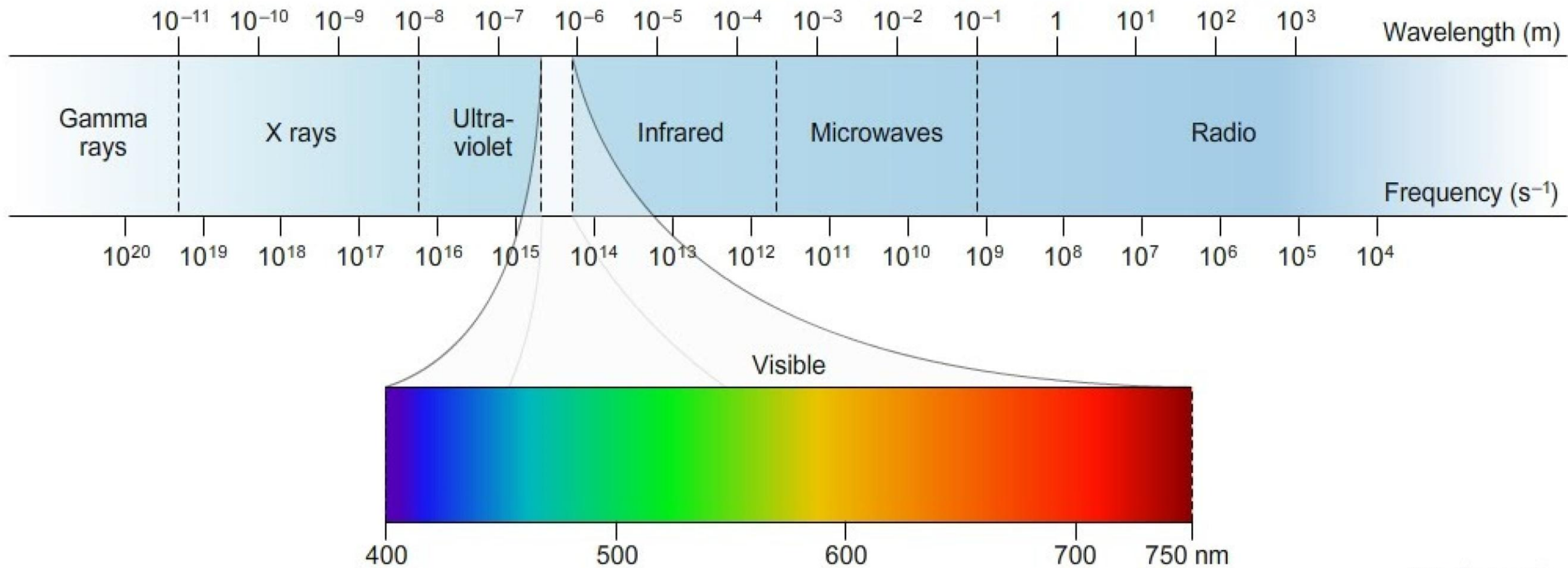
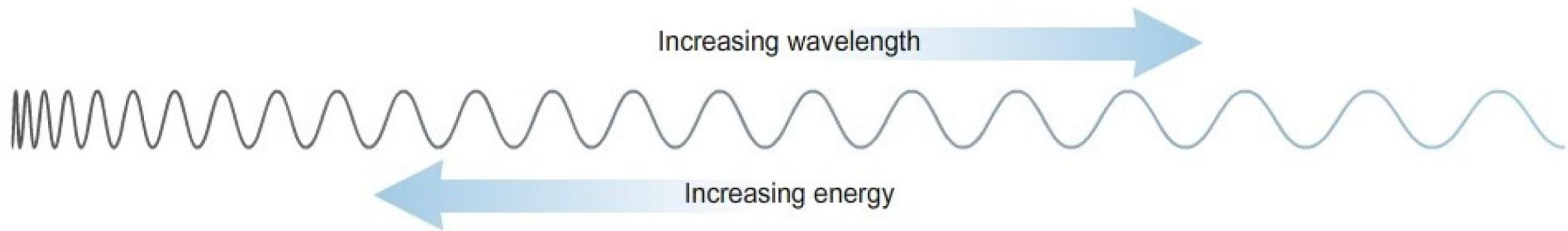
- între undele radio și radiațiile infraroșii

# Domeniul microundelor

- domeniul de frecvență se întinde, în general, între 300 MHz (0,3 GHz) și 300 GHz, corespunzând lungimilor de undă cuprinse între 1 metru și 1 milimetru.

# Domeniul microundelor

- dezvoltarea tehnologiei moderne – comunicații wireless, radare, senzori, dispozitive medicale și aplicații spațiale – se bazează din ce în ce mai mult pe exploatarea eficientă a acestor frecvențe.



# Spectrul de frecvență

- Spectrul electromagnetic include toate frecvențele posibile ale radiației electromagnetice, de la unde extrem de lungi (ELF, câteva Hz) până la raze gamma ( $10^{20}$  Hz).

# Spectrul de frecvență

- În această ierarhie:
  - Undele radio:  $< 300$  MHz
  - Microundele:  $300$  MHz –  $300$  GHz
  - Infraroșu:  $> 300$  GHz

# Spectrul de frecvență

- Microundele se suprapun parțial cu undele radio de înaltă frecvență (UHF, SHF, EHF).

# Subdomenii ale microundelor

- L-band (1–2 GHz): GPS, comunicații mobile

# Subdomenii ale microundelor

- S-band (2–4 GHz): Wi-Fi, radare meteo

# Subdomenii ale microundelor

- C-band (4–8 GHz): Sateliți, radare maritime

# Subdomenii ale microundelor

- X-band (8–12 GHz): Radare militare

# Subdomenii ale microundelor

- Ku/K/Ka/V/W-band: Aplicații avansate (TV satelit, 5G, senzori, imagistică)

# Domenii majore de aplicații

- telecomunicații: wi-fi, bluetooth, 5G, satelit
- radar și detecție: auto, meteo, militar

# Domenii majore de aplicații

- navigație: GPS, Galileo
- medicină: imagistică RMN, hipertermie

# Domenii majore de aplicații

- senzori industriali, aerospațiali
- cercetare: spectroscopie, meteorologie

# Domenii majore de aplicații

- telecomunicații: wi-fi, bluetooth, 5G, satelit
  - radar și detecție: auto, meteo, militar
    - navigație: GPS, Galileo
- medicină: imagistică RMN, hipertermie
  - senzori industriali, aerospațiali
- cercetare: spectroscopie, meteorologie

# Tipuri de circuite integrate de microunde

- Circuite pasive: linii, filtre, cuplari, antene

# Tipuri de circuite integrate de microunde

- Circuite active: amplificatoare, mixere, comutatoare

# Tipuri de circuite integrate de microunde

- CIMM – combinații pasive și active integrate

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Perioada pionieratului (anii 1930–1950)

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Primele aplicații de microunde au apărut în contextul militar, odată cu dezvoltarea radarelor în timpul celui de-al Doilea Război Mondial:
  - tuburi electronice speciale - magnetronul, klystronul, TWT (Traveling Wave Tube) - pentru generarea și amplificarea semnalelor de microunde
  - circuitele erau discrete, construite cu ghiduri de undă metalice și componente voluminoase
  - nu exista integrare propriu-zisă – fiecare funcție era realizată cu elemente separate

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Aceste sisteme, deși performante, erau mari, grele și costisitoare, limitând aplicațiile civile

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Apariția semiconductoarelor și tranziția spre integrare (anii 1950–1970)

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- După descoperirea tranzistorului (1947), a început miniaturizarea sistemelor electronice.

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Soluții:

- tranzistoarele cu efect de câmp (FET) și apoi MESFET-urile pe GaAs (galiu arsenid), capabile să funcționeze la zeci de GHz
- primele circuite integrate hibride de microunde (Hybrid MIC): combinații de componente discrete montate pe substraturi dielectrice (alumina, cuarț)
- introducerea tehnicii microstrip – o revoluție în miniaturizarea circuitelor

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- Era monolitică (anii 1970–1990): Nașterea CIMM (MMIC)

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

- în anii '70 apare termenul de Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) – circuit integrat monolitic de microunde.

# Istoric al circuitelor integrate de microunde

realizate integral pe același substrat (de regulă GaAs), incluzând:

- tranzistoare active (MESFET, HEMT);
- elemente pasive (linii de transmisie, rezistențe, condensatoare, inductoare);
- funcții complete (amplificatoare, oscilatoare, convertoare).

# 1990-2010

- Diversificarea materialelor și tehnologiilor
- după 1990, se diversifică semiconductoarele și procesele de fabricație: GaAs rămâne dominant, dar apar GaN (galiu nitrură) și InP (indiu fosfură) pentru frecvențe foarte înalte și puteri mari

# 1990-2010

- se dezvoltă circuite SiGe (siliciu-germaniu) care combină performanța RF cu costurile reduse ale siliciului
- integrarea cu tehnologia CMOS devine posibilă → circuite de microunde în telefoane mobile și echipamente comerciale
- se trece la simulări electromagnetice 3D și la proiectare asistată de calculator (CAD pentru microunde)

# 2010-prezent

- Era comunicațiilor inteligente
- odată cu apariția 5G, IoT și comunicațiilor milimetrice. Se ating frecvențe de lucru peste 100 GHz (banda W și E).

# 2010-prezent

- circuitele devin reconfigurabile, adaptative și programabile (beamforming, antene inteligente)
- se folosesc materiale avansate: GaN pe SiC, grafen, metasuprafețe integrate
- tehnologia System-on-Chip (SoC) permite integrarea completă a funcțiilor RF, analogice și digitale pe același cip.

# Viitorul

- frecvențe terahertz (THz) pentru comunicații ultra-rapide și imagistică de înaltă rezoluție;
- materiale 2D (grafen, MoS<sub>2</sub>) cu mobilitate electronică excepțională;
- tehnologii fotonice integrate – combinație între microunde și lumină;
- sisteme cuantice și detectoare de microunde cu sensibilitate ridicată

# Concluzii

- microundele – domeniu esențial al electronicii moderne
- fundament pentru comunicații, senzori și radar
- CIMM permit miniaturizare și performanță ridicată
- evoluția 5G/6G accelerează dezvoltarea continuă

# Bibliografie

- Reinmut K. Hoffmann, Handbook of Microwave Integrated Circuits, Artech House, 1987
- GaAs IC Foundry Design Guide, PLESSEY
- Graphene-Based Microwave Circuits: A Review
- Fundamentals of Microwave and RF Design
- Planar Microwave Engineering: A Practical Guide to Theory, Measurement, and Circuits
- Microwave Devices and Circuits de Samuel Liao
- Foundations for Microstrip Circuit Design de T. C. Edwards
- RF and Microwave Integrated Circuits: Passive Components and Control Devices de Leo G. Maloratsky