



Facultatea de Electronică, Telecomunicații, și  
Tehnologia Informației



# Exemple de sisteme și circuite electronice necesare în microsisteme

-referat-

Student:

Turcu Paolo D'Iasi

Profesor

ș.l. dr. ing. Daniela Ionescu

# Tehnologia CMOS

**Metal-oxid-semiconductor complementar** este un tip de proces de fabricare a tranzistorului cu efect de câmp (MOSFET) metal-oxid-semiconductor care utilizează perechi complementare și simetrice de MOSFET-uri de tip p și de tip n pentru funcții logice. Tehnologia CMOS este utilizată pentru construirea de cipuri de circuit integrat (IC), inclusiv microprocesoare , microcontrolere , cipuri de memorie (inclusiv CMOS BIOS ) și alte circuite logice digitale . Tehnologia CMOS este utilizată și pentru circuite analogice, cum ar fi senzori de imagine ( senzori CMOS ), convertoare de date , circuite RF ( RF CMOS ) și transceiver-uri foarte integrate pentru multe tipuri de comunicații.

Două caracteristici importante ale dispozitivelor CMOS sunt imunitatea ridicată la zgomot și consumul redus de energie statică . Deoarece un tranzistor al perechii MOSFET este întotdeauna oprit, combinația de serie consumă o putere semnificativă doar pentru moment în timpul comutării între stările pornit și oprit. În consecință, dispozitivele CMOS nu produc la fel de multă căldură reziduală ca alte forme de logică, cum ar fi logica NMOS sau logica tranzistor-tranzistor (TTL), care au în mod normal un anumit curent în stare, chiar și atunci când nu își schimbă starea. Aceste caracteristici permit CMOS să integreze o densitate mare de funcții logice pe un cip. În primul rând din acest motiv, CMOS a devenit cea mai utilizată tehnologie care să fie implementată în cipurile VLSI.

Expresia „metal-oxid-semiconductor” este o referire la structura fizică a tranzistoarelor cu efect de câmp MOS , având un electrod de poartă metalic plasat deasupra unui izolator de oxid, care, la rândul său, este deasupra unui material semiconductor . Aluminiul a fost folosit cândva, dar acum materialul este polisiliciul . Alte porți metalice au revenit odată cu apariția materialelor dielectrice de înaltă  $\kappa$  în procesul CMOS, așa cum au anunțat IBM și Intel pentru nodul de 45 de nanometri și dimensiuni mai mici.

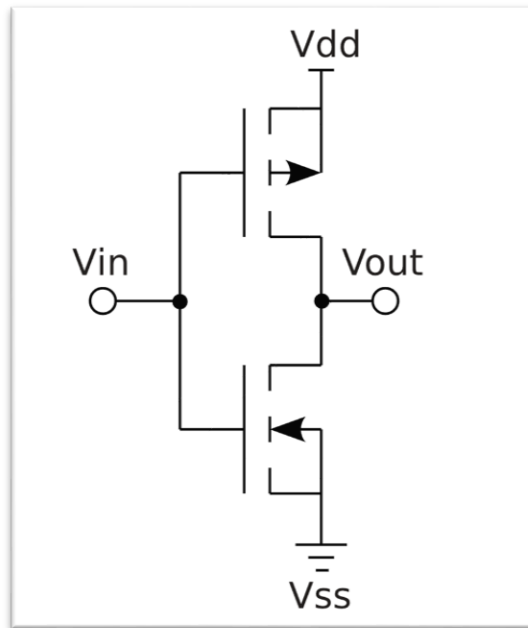


Figura 1. Invertor CMOS( o poarta 0 logic)

„CMOS” se referă atât la un anumit stil de proiectare a circuitelor digitale, cât și la familia de procese utilizate pentru a implementa acel circuit pe circuite integrate (cipuri). Circuitele CMOS disipează mai puțină putere decât familiile logice cu sarcini rezistive. Deoarece acest avantaj a crescut și a devenit mai important, procesele și variantele CMOS au ajuns să domine, astfel că marea majoritate a producției moderne de circuite integrate este pe procese CMOS. Logica CMOS consumă aproximativ o șapte din puterea logicii NMOS , și de aproximativ 10 milioane de ori mai puțină putere decât logica bipolară tranzistor-tranzistor (TTL).

Circuitele CMOS folosesc o combinație de tranzistori cu efect de câmp de tip p și n de tip metal-oxid-semiconductor (MOSFET) pentru a implementa porți logice și alte circuite digitale. Deși logica CMOS poate fi implementată cu dispozitive discrete pentru demonstrații, produsele comerciale CMOS sunt circuite integrate compuse din până la miliarde de tranzistori de ambele tipuri, pe o bucată dreptunghiulară de siliciu de multe ori între 10 și 400  $\text{mm}^2$

CMOS utilizează întotdeauna toate MOSFET-urile în modul de îmbunătățire (cu alte cuvinte, o tensiune zero de la poartă la sursă oprește tranzistorul).

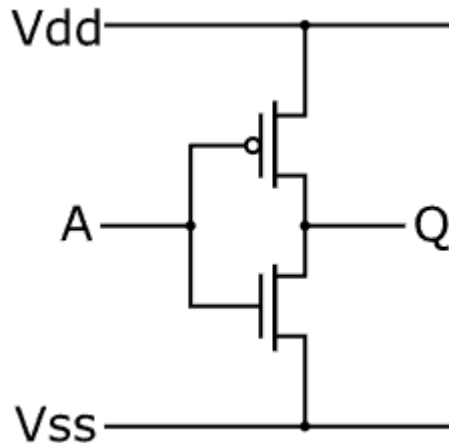


Figura 2 Invertor static CMOS(Vdd+ si Vss-)

Imaginea alăturată arată ce se întâmplă atunci când o intrare este conectată atât la un tranzistor PMOS (partea de sus a diagramei) cât și la un tranzistor NMOS (partea de jos a diagramei). Vdd este o tensiune pozitivă conectată la o sursă de alimentare și Vss este masă. A este intrarea și Q este ieșirea.

Când tensiunea lui A este scăzută (adică aproape de Vss), canalul tranzistorului NMOS este într-o stare de rezistență ridicată, deconectând Vss de la Q. Canalul tranzistorului PMOS este într-o stare de rezistență scăzută, conectând Vdd la Q. Q, prin urmare, înregistrează Vdd.

Pe de altă parte, când tensiunea lui A este mare (adică aproape de Vdd), tranzistorul PMOS este într-o stare de rezistență ridicată, deconectând Vdd de la Q. Tranzistorul NMOS este într-o stare de rezistență scăzută, conectând Vss la Q. Acum, Q înregistrează Vss.

Pe scurt, ieșirile tranzistoarelor PMOS și NMOS sunt complementare, astfel încât atunci când intrarea este scăzută, ieșirea este ridicată, iar când intrarea este ridicată, ieșirea este scăzută. Indiferent care este intrarea, ieșirea nu este niciodată lăsată plutitoare (încărcarea nu este niciodată stocată din cauza capacității firului și a lipsei de scurgere/împământare electrică). Din cauza acestui comportament al intrării și ieșirii, ieșirea circuitului CMOS este inversul intrării.

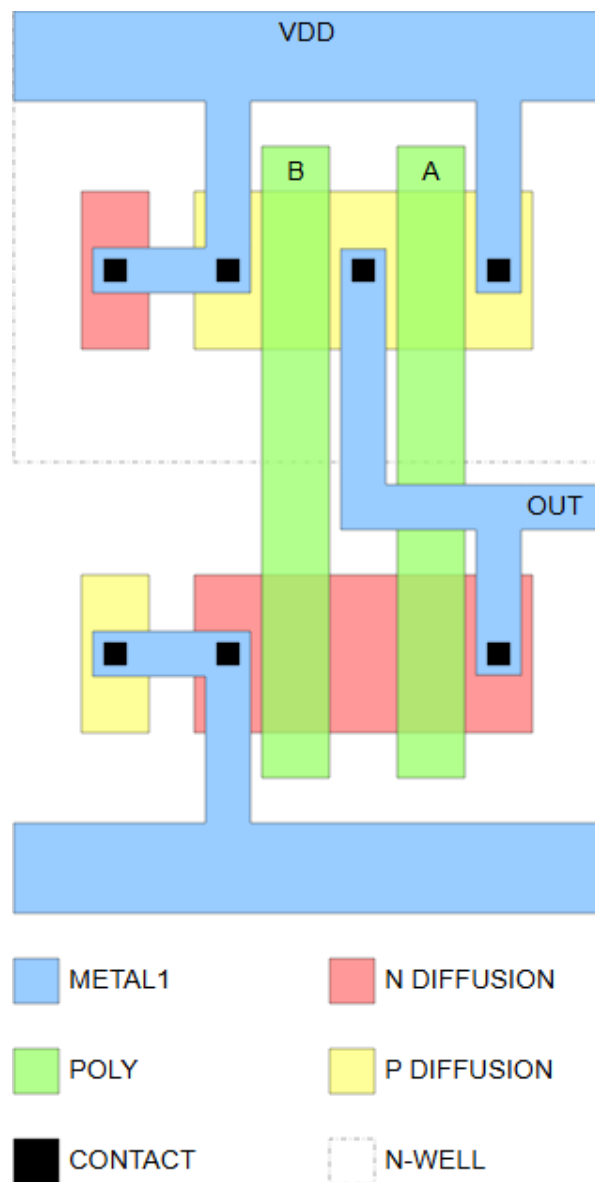


Figura 3 Dispunerea fizică a unui circuit NAND

Acest exemplu arată un dispozitiv logic NAND desenat ca o reprezentare fizică așa cum ar fi fabricat. Perspectiva aspectului fizic este o „vedere de ochi” a unui teanc de straturi. Circuitul este construit pe un substrat de tip P. Polisiliciul, difuzia și n-godeurile sunt denumite „straturi de bază” și sunt de fapt inserate în șanțuri ale substratului de tip P. Contactele pătrund într-un strat izolator între straturile de bază și primul strat de metal (metal1) făcând o conexiune.

Intrările la NAND (ilustrate în culoarea verde) sunt din polisiliciu. Tranzistoarele (dispozitivele) sunt formate prin intersecția dintre polisiliciu și difuzie; Difuzia N pentru dispozitivul N și difuzia P pentru dispozitivul P (ilustrată în colorare somon și respectiv

galben). Ieșirea ("out") este conectată împreună în metal (ilustrat în colorare cyan). Conexiunile dintre metal și polisiliciu sau difuzie se realizează prin contacte (ilustrate ca pătrate negre). Exemplul de aspect fizic se potrivește cu circuitul logic NAND din exemplul anterior.

Dispozitivul N este fabricat pe un substrat de tip P în timp ce dispozitivul P este fabricat într-un godeu de tip N (n-godeuri). Un „robinet” de substrat de tip P este conectat la  $V_{SS}$  și un robinet de tip N cu godeuri este conectat la  $V_{DD}$  pentru a preveni blocarea .

### Amplificatoare cu eșantionare

Pentru cea mai mică tensiune de offset și derivație posibilă, amplificatoarele stabilizate cu eșantionare(auto-zero) pot fi singura soluție. Cele mai bune amplificatoare bipolare oferă tensiuni de offset de  $25 \mu V$  și derivate de  $0,1 \mu V/^{\circ}C$ . Cu toate acestea, cu amplificatoarele cu eșantionare se pot obține tensiuni de offset mai mici de  $5 \mu V$ , cu derivație practic nemăsurabilă, dar cu anumite penalități.

Un circuit de bază al unui amplificator cu eșantionare este ilustrat în Figura 1. Când comutatoarele se află în poziția „Z” (auto-zero), condensatoarele C2 și C3 sunt încărcate cu tensiunea de offset de intrare și de ieșire a amplificatorului, respectiv. Când comutatoarele sunt în poziția „S” (mostrare), VIN este conectat la VOUT prin traseul format din R1, R2, C2, amplificatorul, C3 și R3. Frecvența de eșantionare este de obicei între câteva sute de Hz și câțiva kHz. Este important de reținut că, fiind un sistem de eșantionare, frecvența de intrare trebuie să fie mult mai mică de jumătate din frecvența de tocătură pentru a preveni erorile cauzate de aliasing. Combinația R1-C1 funcționează ca un filtru anti-aliasing. De asemenea, se presupune că după atingerea stării de echilibru, transferul de sarcină între ciclurile de comutare este minim. Condensatorul de ieșire, C4, și sarcina RL trebuie alese astfel încât variația VOUT într-un ciclu auto-zero să fie minimă.

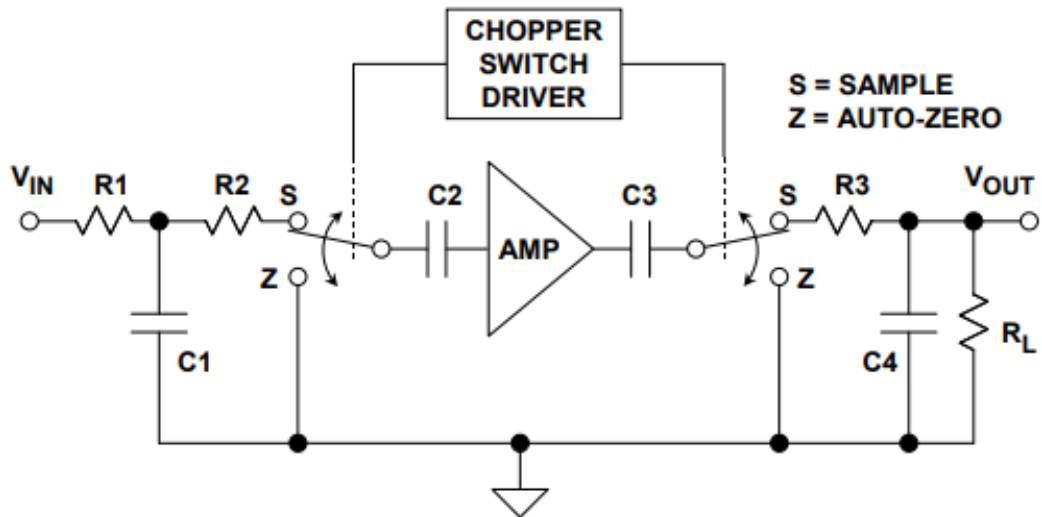


Figura 4 Circuitul clasic al unui amplificator cu eşantionare

### AMPLIFICATOR OPERAȚIONAL STABILIZAT CU EȘANTIONARE AUTO-ZERO

Amplificatorul de bază cu eşantionare din Figura 4 poate transmite doar frecvențe foarte joase din cauza filtrării de intrare necesare pentru a preveni aliasingul. Spre deosebire de acesta, arhitectura stabilizată cu eşantionare auto-zero, prezentată în Figura 5, este cea mai des utilizată în implementările de amplificatoare cu eşantionare.

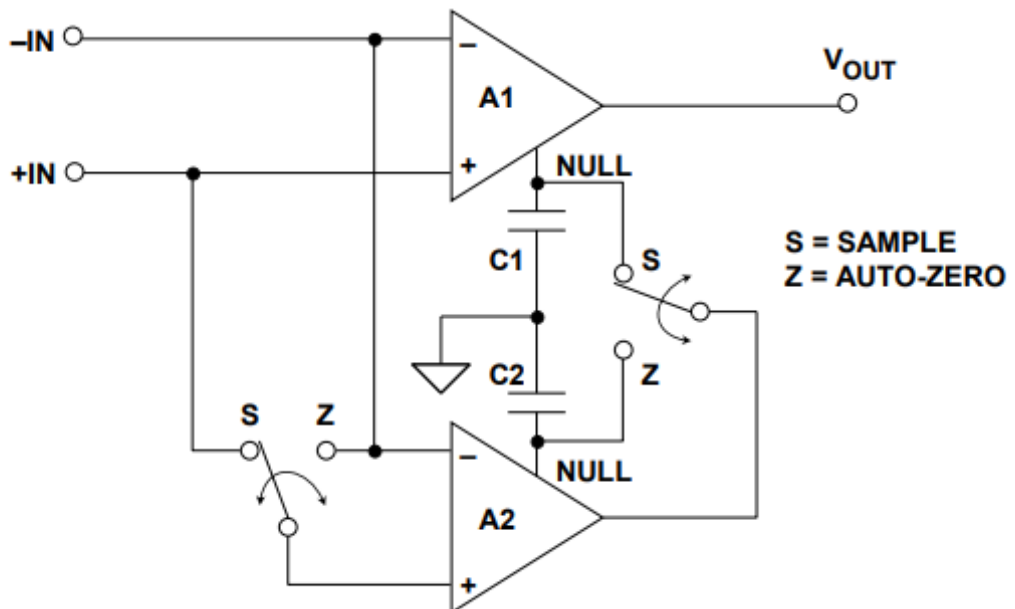


Figura 5. Amplificator Operațional Stabilizat cu eşantionare Auto-Zero Modern

În acest circuit, A1 este amplificatorul principal, iar A2 este amplificatorul de corectare. În modul eşantionare (întrerupătoarele în poziția „S”), amplificatorul de corectare A2 monitorizează tensiunea de offset de intrare a amplificatorului principal A1 și își ajustează ieșirea pentru a aduce offsetul la zero, aplicând o tensiune de corectare la pinul de ajustare a offsetului (null) al lui A1. Totuși, A2 are la rândul său o tensiune de offset, ceea ce înseamnă că trebuie să își corecteze propriile erori înainte de a corecta offsetul lui A1. Aceasta se realizează în modul auto-zero (întrerupătoarele în poziția „Z”) prin deconectarea temporară a lui A2 de la A1, scurtcircuitarea intrărilor sale și conectarea ieșirii sale la propriul pin de ajustare a offsetului. În modul auto-zero, tensiunea de corecție pentru A1 este temporar menținută de C1. Similar, C2 menține tensiunea de corecție pentru A2 în modul eşantionare. În amplificatoarele operaționale moderne stabilizate cu eşantionare, condensatoarele C1 și C2 sunt integrate pe cip.

În această arhitectură, semnalul de intrare este întotdeauna conectat la ieșire prin A1. Lățimea de bandă a lui A1 determină astfel lățimea de bandă generală a semnalului, iar semnalul de intrare nu este limitat la mai puțin de jumătate din frecvența de eşantionare, așa cum se întâmplă în cazul arhitecturii clasice a amplificatoarelor cu eşantionare. Totuși, acțiunea de comutare produce mici tranziții la frecvența de chopping, care se pot combina cu frecvența semnalului de intrare și pot produce distorsiuni prin intermodulație.

O tehnică brevetată de spectru dispersat este utilizată în seria AD8571/AD8572/AD8574 de amplificatoare operaționale stabilizate cu eşantionare alimentate cu o singură sursă, pentru a elimina practic efectele de intermodulație. Aceste dispozitive utilizează o frecvență de eşantionare pseudorandom, variind între 2 kHz și 4 kHz. Figura 6 compară distorsiunea prin intermodulație a unui amplificator stabilizat cu eşantionare tradițional cu cel cu frecvență de eşantionare pseudorandom.



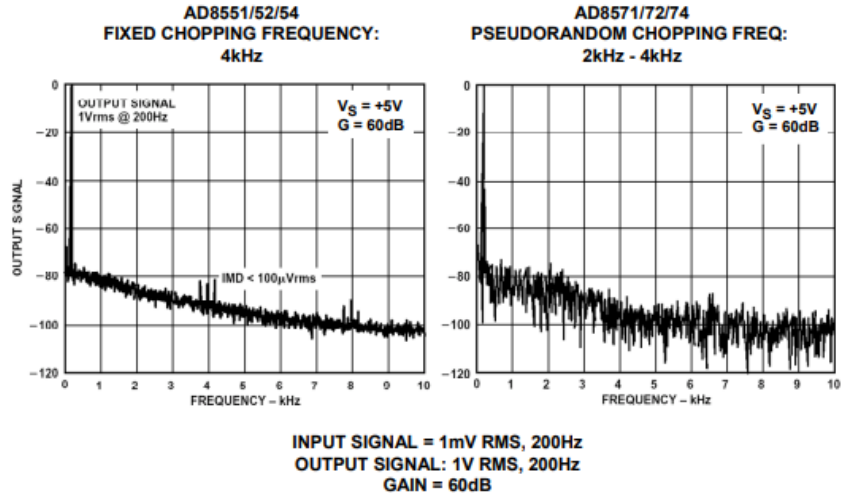


Figura 6. Produs de Intermodulație: Frecvență Fixă versus Frecvență de Chopping Pseudorandom

O comparație între eșantionarea fixă și cel pseudorandom asupra zgomotului de tensiune este prezentată în Figura 7 de mai jos. Se observă că, pentru frecvența de eșantionarea fixă, există vârfuri distincte în spectrul zgomotului la armonicile impare ale frecvenței de 4 kHz, în timp ce pentru eșantionarea pseudorandom, spectrul este mult mai uniform, deși nivelul mediu al zgomotului este mai mare.

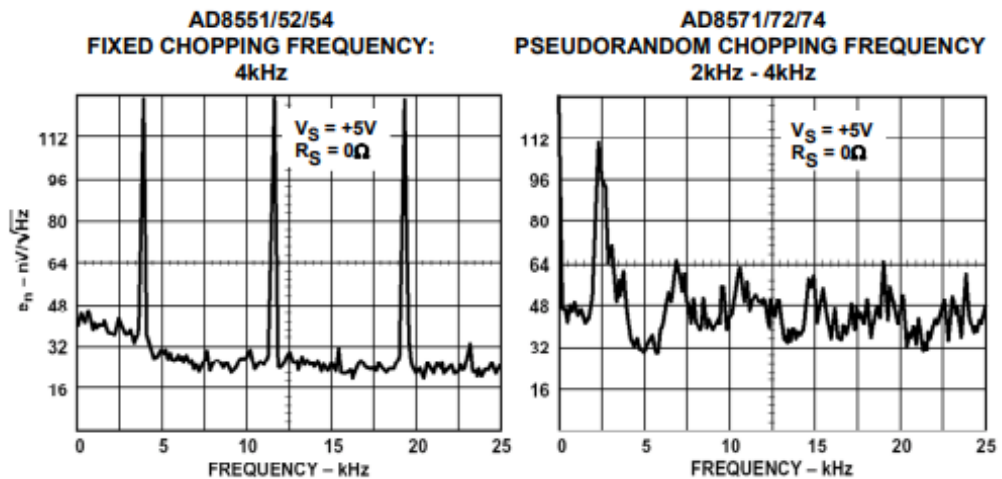


Figura 7. Compararea Densității Spectrale a Zgomotului de Tensiune: Frecvență Fixă versus Frecvență de eșantionare Pseudorandom

**O altă metodă de reducere a efectelor de intermodulație** cauzate de acțiunea de comutare a amplificatoarelor auto-zero este utilizarea unei combinații brevetate de auto-zero și eșantionare, așa cum se aplică în familia AD8628/AD8629/AD8630. Această topologie unică permite acestor amplificatoare să-și mențină tensiunea de offset scăzută pe o gamă largă de temperaturi și pe durata lor de viață operațională.

Familia AD8628/AD8629/AD8630 optimizează de asemenea zgomotul și lățimea de bandă față de generațiile anterioare de amplificatoare auto-zero, oferind cel mai mic zgomot de tensiune dintre toate amplificatoarele auto-zero cu o reducere de peste 50%. Alte modele utilizează fie auto-zero, fie eșantionare pentru a adăuga precizie specificațiilor unui amplificator. Auto-zeroing-ul reduce energia zgomotului la frecvența de auto-zero, dar la costul unui zgomot mai mare la frecvențe joase datorat aliasingului zgomotului cu bandă largă în intervalul frecvenței auto-zero. Choppingul reduce zgomotul la frecvențe joase, dar crește energia zgomotului la frecvența de chopping.

Familia AD8628/AD8629/AD8630 utilizează atât auto-zero, cât și eșantionare într-o aranjare brevetată „ping-pong” pentru a obține un zgomot mai mic la frecvențe joase, împreună cu o energie mai scăzută la frecvențele de eșantionare și auto-zero, maximizând raportul semnal-zgomot pentru majoritatea aplicațiilor fără a necesita filtrare suplimentară. Frecvența de comutare relativ ridicată de 15 kHz simplifică cerințele de filtrare pentru o lățime de bandă largă, utilă și lipsită de zgomot. Densitatea spectrală a zgomotului familiei este prezentată în Figura 8.

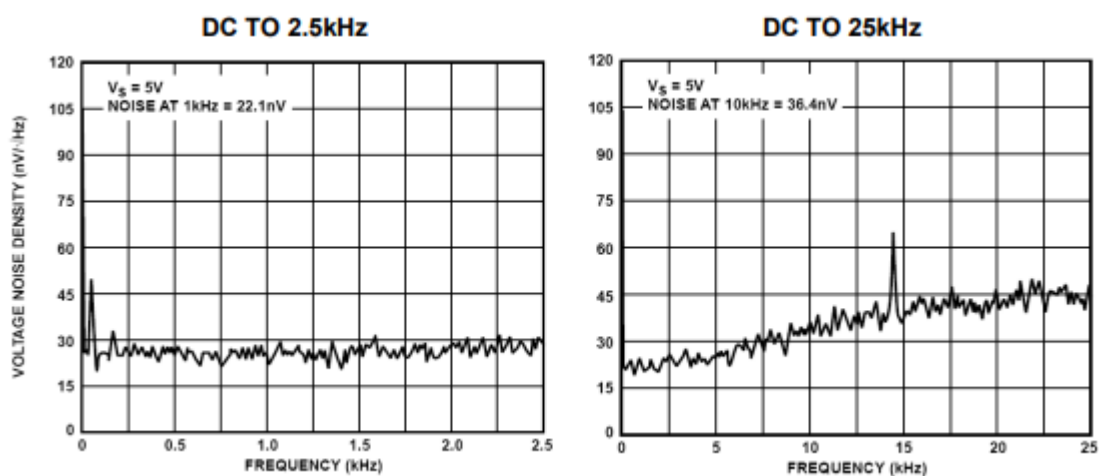


Figura 8. Densitatea Spectrală a Zgomotului pentru Familia AD8628/AD8629/AD8630

# Concluzie

Tehnologia CMOS a revoluționat industria electronicii datorită eficienței energetice, imunității la zgomot și capacității de integrare a unui număr mare de funcții logice pe cipuri compacte. Aceasta domină producția de circuite integrate moderne, fiind utilizată atât în aplicații digitale (microprocesoare, memorie) cât și analogice (senzori de imagine, convertoare de date, circuite RF).

În ceea ce privește amplificatoarele cu eșantionare, acestea sunt soluții esențiale pentru reducerea tensiunilor de offset și îmbunătățirea stabilității circuitelor. Modelele moderne integrează tehnologii precum eșantionarea pseudorandom pentru a reduce distorsiunile și zgomotul, oferind performanțe superioare în aplicațiile sensibile.

Aceste inovații subliniază importanța cercetării și dezvoltării continue în microelectronică, contribuind la optimizarea performanței și a fiabilității dispozitivelor utilizate în diverse domenii tehnologice.