

Caracteristicile memoriei SDRAM DDR5 și îmbunătățirile acesteia în cadrul memoriei calculatorului

*Double Data Rate Synchronous Dynamic Random-Access Memory

1st Momoi Alexandru

Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Universitatea Transilvania

Brașov, Romania

Nr. matricol 9781

alexandru.momoi@student.unitbv.ro

2nd Olteanu Eduard Daniel

Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Universitatea Transilvania

Brașov, Romania

Nr. matricol 9785

eduard.olteanu@student.unitbv.ro

Abstract—Acest document este bazat pe studiul personal al memoriei de tip DDR5 SDRAM

Index Terms—component, formatting, style, styling, insert

I. INTRODUCERE

A. Despre memoria DDR

Memoria de tip DDR (Double Data Rate) este un tip de memorie RAM (Random-Access Memory), ce funcționează pe baza transferului de date pe ambele fronturi ale semnalului de ceas, înlocuind modelul de memorie SDR SDRAM (Single Data Rate), ce se bazează pe transferul datelor doar pe frontul crescător. Termenul de "dual channel" se referă la un chip-set de plăci de bază cu viteza dublă de date (DDR), care este proiectat cu două canale de memorie în loc de unul singur. Modul dual-channel este o caracteristică ce a fost concepută pentru a reduce potențialul blocaj de performanță care există între procesor(CPU) și memoria DRAM.

B. Variante de memorie DDR

Tehnologia DDR a fost implementată și apărută pe piață începând cu anii 2000, dezvoltându-se mai multe variante îmbunătățite pe parcursul anilor, acestea fiind : DDR2,DDR3,DDR4,DDR5, iar în prezent lucrându-se la tehnologia DDR6. Toate aceste variante sunt generații ale aceleași tehnologii, având în plus una față de cealaltă, viteze mai rapide și alte îmbunătățiri tehnice.

II. ÎMBUNĂȚĂȚIRILE ADUSE DE MEMORIA TIP DDR5

Actualul standard de memorie RAM, disponibil pentru consumatori din 2020, este varianta DDR5. Aceste memorii noi beneficiază de un bandwidth de două ori mai mare decât cea a precedentei și sunt mai eficiente din punct de vedere energetic. Datorită acesteia, rata de transmisie a datelor este mult mai bună,variind de la 25,6 GB/s până la 67,2 GB/s. DDR5 este o nouă generație de memorie RAM care oferă performanțe mai bune decât DDR4. Principalele caracteristici

îmbunătățiri aduse de DDR5 reprezintă viteza mai mare, capacitatea crescută, fiabilitatea și eficiența energetică mai bună.

De asemenea, DDR5 introduce și o serie de caracteristici noi de siguranță precum protejarea datelor prin parolă și detectarea de erori pentru a asigura integritatea datelor. În continuare vom prezenta principalele caracteristici îmbunătățite ale memoriei.

Viteză mai mare: DDR5 dispune de o viteză de transfer de date de până la 6400 MT/s (6.4 Gbps), comparativ cu 3200 MT/s (3.2 Gbps) pentru DDR4. Aceasta înseamnă că DDR5 poate transfera date de până la 50% mai repede decât DDR4.

Capacitate mai mare: DDR5 permite utilizarea de module cu o capacitate maximă de până la 16 GB, comparativ cu 8 GB pentru DDR4.

Eficiență energetică mai bună: DDR5 a fost proiectat cu scopul de a reduce consumul de energie cu până la 30 % față de DDR4 , prin funcționarea cu o tensiune mai mică.

Fiabilitate mai bună: DDR5 include caracteristici precum ECC (Error Correction Check sau Corecția erorilor) și RA (Redundanță activă) pentru a îmbunătăți fiabilitatea și integritatea datelor.

A. Specificații Memorie

Câteva exemple de performanțe ale memoriei DDR5 se remarcă în câteva modele de cipuri cum ar fi DDR5-3200, cu frecvența de 800 MHz și rata de transfer de 25,60 GB/s, DDR5-4000 cu frecvența de 1000 MHz ce atinge rata de transfer de 32 GB/s și în final, ultimul model DDR5-8400 cu frecvența de 2100 MHz și rata de transfer 67,20 GB/s.

B. Transfer de date

DDR5 îmbunătățește rata transferului de date față de generațiile anterioare. Ratele de transfer așteptate vor fi între 3200 și 6400 MT/s (Megatransfers/seconds). DDR5 continuă să utilizeze rețele de date single-ended ca și în cazul generațiilor anterioare [1]. Potrivit studiilor de caz, lățimea de

bandă este de 36 de ori mai mare decât cea a unui modul DDR4 cu rata de transfer de 3200 MT/s. O memorie de tip DDR5 cu rata de transfer de 4800 MT/s oferă o performanță crescută cu 87 la sută față de o memorie similară, DDR4 cu rata de transfer de 3200 MT/s.

III. MODULE DE MEMORIE DUAL INLINE (DIMM)

Aplicațiile moderne de server necesită arhitecturi de memorie de mare capacitate, o viteză mare de transfer de date și o latență scăzută. Legătura dintre CPU și memorie trebuie să transmită date cu o viteză crescută către memoria cunoscută sub numele de module de memorie dual inline (DIMM). Cum s-a precizat și mai sus, frecvențele de I/O au fost dublate cu fiecare tehnologie, DDR4 ajungând la o rată de date duală de până la 3.2 Gbit/s. Prin urmare, DDR5-SDRAM a fost conceput să atingă dublul ratei generației anterioare și anume 6.4 Gbit/s. Ratele mai mari de date și capacitatea de memorie mai mare sunt două cerințe care depind una de cealaltă: creșterea capacității de memorie crește sarcina capacitivă și prin urmare scade lățimea de bandă a canalului, ce are ca rezultate frecvențe I/O mai mici [2].

Modulul de memorie DIMM este un tip de memorie de 64 biți folosită pentru un transfer rapid de date, ce conține una sau mai multe cipuri de memorii RAM pe o placă mică de circuit, cu pini ce o conectează la placa de bază al computerului. Modulele DIMM stochează fiecare bit de date într-o celulă de memorie separată, iar calea de date este de 64 biți, întrucât procesoarele utilizate în computerele personale au o lățime de date de 64 de biți.

IV. EFECTELE ISI ASUPRA MEMORIEI DDR

Canalele DDR sunt predispușe la efecte ISI bazate pe reflexie. Fenomenul de ISI zis și "Intersymbol interference" este o formă de distorsiune a unui semnal, în care un simbol interferează cu alte simboluri adiacente. Acest fenomen este unul nedorit, întrucât simbolurile anterioare au un efect similar cu zgomotul, făcând astfel comunicarea mai puțin fiabilă și sigură. ISI este de obicei cauzat de propagarea pe mai multe căi sau de răspunsul în frecvență inerent al unui canal de comunicație. Reflexiile pot apărea și din cauza lungimii scurte a traseelor. Aceste reflexii pot afecta calitatea semnalului și pot duce la erori de transmisie. Astfel, tehnicile de egalizare ce atenuează aceste reflexii vor fi utile pentru ratele de date mai mari ale DDR5.

În timp ce topologiile punct la punct din DDR5 ar putea funcționa fără egalizare, topologiile care implică DIMM-uri sau alte plăci suplimentare vor necesita egalizare la DRAM și controler. DFE (Decision Feedback Equalizer) este deosebit de util în atenuarea efectelor ISI reflectorizante implicate în canalele DDR [1].

DFE combină informațiile de decizie cu un feedback adaptiv al egalizatorului pentru a îmbunătăți performanța sistemului de comunicații. Prin utilizarea unui algoritm de adaptare, DFE poate estima și compensa dinamic distorsiunile canalului, ceea ce permite transmiterea de semnale de mare calitate chiar și în medii cu multă interferență. DFE încearcă să

compenseze aceste efecte ISI prin estimarea comportamentului unei tranziții pe biții ulteriori și încercarea de a anula influența asupra acelor biți ulteriori. Prin utilizarea DFE, se pot atenua efectele ISI reflexive și reducerea erorilor de transmisie.

V. SOLUȚIA PENTRU SERVERELE VIITORULUI

Serviciile Cloud au influențat nevoia de memorii DDR mai performante pentru viitoarele servere. Din acest motiv au fost create noile memorii DDR5 care operează la tensiuni reduse, operând cu cea mai înaltă viteză de 7.2 Gbps și cea mai mare capacitate de memorie de 512 GB. Problema pe care acest modul nou le-a adus, a fost necesitatea pentru un I/O capabil pentru noile performanțe. Principalele probleme remarcate au fost fluctuații de curent instabile, creșteri de consum și temperaturi ridicate, toate acestea trebuind să fie rezolvate [3].

A. Performanțe remarcate în server

Pentru a măsura performanțele, s-a configurat un server cu opt module DDR5 DRAMs de 512 GB memorie de la producătorul Samsung, cu un total de 4096 GB RAM. DDR5 oferă o performanță cu 85% mai mare sau 1.4x mai bună decât DDR4. Viteza de transfer de date este de 7.2 GB/s sau 2.2x mai mare în DDR5 comparativ cu DDR4. Capacitatea de memorie este de 512 Gb sau 2x mai mare în DDR5 față de DDR4. Voltajul necesar este de 1.1 V sau 0.92x mai mic în DDR5 decât în DDR4.

Noile module lucrează cu două sub canale independente care cresc eficiența magistralei cu 18% și lățimea de bandă de până la 7200 Mbps în comparație cu modelul anterior. Pentru a atinge această lățime de bandă, în interiorul memoriei s-a utilizat un circuit DFE (Decision feedback equalizer), care are rolul de a amplifica componentele de înaltă frecvență ale unui semnal fără a amplifica zgomotul. Acest circuit disipă din efectele ISI.

B. Capacitatea de memorie ridicată

Pentru a atinge această capacitate de memorie ridicată au fost necesare unele modificări la arhitectura memoriei:

- Reducerea distanței între semi-conductori cu 40%.
- S-au folosit materiale mai subțiri.
- Interconectare TSV fără erori.
- Răcire sporită cu o impendată a fluxului de aer mai scăzută.

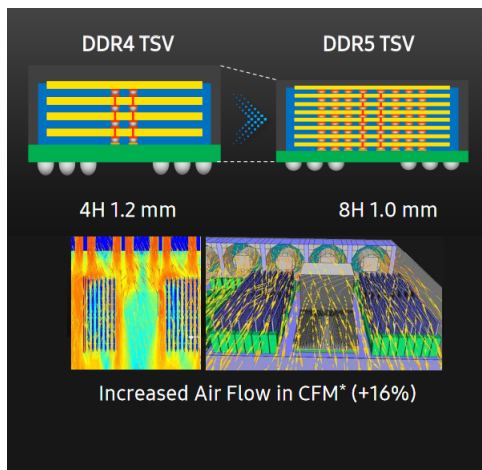


Fig. 1. Noua arhitectură și modul prin care îmbunătățește fluxul de aer. [3]

C. Consum redus de energie

Modificarea arhitecturii memoriei a ajutat și la consumul redus de energie. Aceasta a fost realizată prin introducerea unui regulator de voltaj pe modul și prin modificarea structurii de siliciu, așa cum se regăsește în Figura 2 .

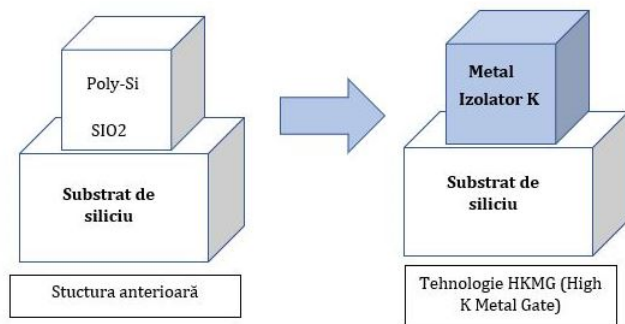


Fig. 2. Regulatorul de voltaj și modificarea structurii de siliciu de pe modul.

Aceste modificări au redus apariția zgomotului la operații cu voltaj scăzut și a crescut eficiența energetică cu 30%. Regulatorul de voltaj din DDR5 permite ca tensiunea alimentării să fie redusă la 1.1V, față de 1.2V pentru DDR4. Acest lucru reduce consumul de energie în timp ce memoria RAM este utilizată și poate ajuta la extinderea durabilității bateriei în cazul în care sistemul este alimentat de o baterie.

Modificarea structurii de siliciu din DDR5 permite o mai bună gestionare a căldurii, ceea ce poate ajuta la o mai bună eficiență energetică.

Aceste caracteristici de energie redusă pot ajuta sistemul să fie mai eficient energetic și să se extindă durabilitatea bateriei, ceea ce poate fi benefic pentru utilizatorii care folosesc sistemele mobile sau laptopurile.

VI. PERFORMANȚA ȘI CARACTERISTICILE MEMORIEI: O ANALIZĂ COMPARATIVĂ A DDR5, LPDDR ȘI GDDR

Memoria este un element esențial al oricărui sistem informatic, iar alegerea tipului potrivit de memorie poate avea un impact semnificativ asupra performanței și eficienței energetice a acestuia. În acest capitol, vom analiza comparativ performanța și caracteristicile memoriei DDR5, LPDDR și GDDR.

DDR5 este o nouă generație de memorie cu performanțe ridicate, care oferă viteze de transfer de date mai mari și o capacitate de memorie mai mare decât generația anterioară, DDR4. LPDDR, sau Low Power Double Data Rate, este o tehnologie de memorie proiectată pentru a oferi performanțe ridicate cu un consum redus de energie, fiind utilizată în principal în dispozitivele mobile. GDDR, sau Graphics Double Data Rate, este o tehnologie de memorie utilizată în principal în plăcile grafice și în alte aplicații grafice solicitante.

Vom compara caracteristicile și performanțele acestor tipuri de memorii, precum vitezele de transfer de date, latența, capacitatea și consumul de energie, pentru a ajuta la înțelegerea diferențelor dintre ele și pentru a determina care tip de memorie se potrivește cel mai bine necesităților și utilizării.

A. LPDDR

LPDDR (Low Power Double Data Rate) este o tehnologie de memorie utilizată în principal în dispozitive mobile, cum ar fi telefoanele inteligente, tabletele și laptopurile. LPDDR este proiectat pentru a oferi performanțe ridicate cu un consum redus de energie, ceea ce este esențial pentru dispozitivele mobile care au o durată limitată de viață a bateriei.

LPDDR este similar cu DDR în ceea ce privește modul în care funcționează și oferă aceleași avantaje, cum ar fi vitezele de transfer de date mai mari și latențe mai mici. Cu toate acestea, LPDDR folosește un voltaj mai mic și o tehnologie de construcție diferită pentru a reduce consumul de energie.

B. GDDR

GDDR (Graphics Double Data Rate) este o tehnologie de memorie utilizată în principal în plăcile grafice și în alte aplicații grafice solicitante. Aceasta este proiectată pentru a oferi performanțe ridicate și viteze de transfer de date mari, care sunt necesare pentru procesarea datelor grafice și pentru afișarea imaginilor în timp real.

GDDR este similar cu DDR în ceea ce privește modul în care funcționează, dar este proiectat să funcționeze la viteze și latențe mai mari pentru a satisface nevoile aplicațiilor grafice. De asemenea, GDDR are un bus de date mai larg decât DDR, ceea ce permite transferul de date mai rapid.

GDDR este utilizat în plăcile grafice din computere și console de jocuri, precum și în alte aplicații grafice solicitante, cum ar fi sisteme de afișare digitală sau sisteme de realitate virtuală.

C. Viteze de transfer

Vitezele de transfer de date pentru DDR5 variază între 3200 Mbps și 6400 Mbps, în timp ce LPDDR5 poate atinge viteze

de transfer de date de până la 6400 Mbps. În ceea ce privește GDDR, vitezele de transfer de date pentru GDDR5 pot ajunge la 8500 Mbps, iar pentru GDDR6, vitezele de transfer de date pot ajunge la 16000 Mbps.

Vitezele de transfer de date sunt importante pentru a determina cât de rapid sistemul poate accesa și procesa datele din memorie. Cu cât vitezele sunt mai mari, cu atât sistemul poate funcționa mai rapid și poate prelucra mai multe date într-un timp mai scurt.

Acestea sunt numere aproximative, deoarece vitezele de transfer de date pot varia în funcție de producător și de specificațiile individuale ale fiecărei versiuni. Este important să se verifice specificațiile individuale ale produselor pentru a obține vitezele de transfer de date exacte.

D. Consum de energie

DDR5 este proiectat să funcționeze la un voltaj mai mic decât DDR4, de aproximativ 1.1V, ceea ce duce la un consum redus de energie. LPDDR5 poate funcționa la un voltaj de doar 0,6V, ceea ce duce la un consum redus de energie și o durată mai lungă a bateriei.

GDDR5 poate consuma mai multă energie decât DDR5 sau LPDDR5, dar este optimizat pentru performanțe ridicate. GDDR6 este mai eficient din punct de vedere al consumului de energie decât predecesorul său, GDDR5.

Este important de menționat că aceste numere sunt aproximative și variază în funcție de producător și de specificațiile individuale ale fiecărei versiuni.

VII. DDR 5 ÎN COMPUTERUL PERSONAL

Într-un sistem tip computer de birou, a fost configurat în jurul noului procesor de la Intel, Intel Core i9-12900K, pentru a măsura diferențele de performanță între memoriile DDR5 și DDR4. Acest test de performanță a fost realizat prin rularea a diferitor sarcini obișnuite, precum Microsoft Office, suita Adobe sau jocuri.

TABLE I
ADOBE PHOTOSHOP 2022 SCOR PER TOTAL

Memorii	Scor
DDR4-3200	8121
DDR5-6400	8091
DDR5-5200	8048
DDR4-4000	8035
DDR5-5600	8010
DDR5-6000	8004
DDR4-3600	7990
DDR5-4800	7884
DDR4-2133	7402

Cu cât este mai mare scorul cu atât este mai bine
Sursa: tom'sHARDWARE [4]

TABLE II
ADOBE LIGHTROOM 2022 SCOR PER TOTAL

Memorii	Scor
DDR5-6400	14735
DDR5-6000	12622
DDR5-5200	12550
DDR5-5600	12420
DDR5-4800	12195
DDR4-4000	11531
DDR4-3600	11425
DDR4-3200	10978
DDR4-2133	10207

Cu cât este mai mare scorul cu atât este mai bine
Sursa: tom'sHARDWARE [4]

TABLE III
FAR CRY 6

Memorii	Frame-uri pe secundă
DDR5-6000	133
DDR5-5600	132
DDR5-6400	132
DDR5-5200	130
DDR4-3600	130
DDR4-4000	130
DDR4-3200	130
DDR5-4800	128
DDR4-2133	113

Cu cât mai multe frameuri cu atât este mai bine
Sursa: tom'sHARDWARE [4]

Într-un test realizat pe programele Office 365, se observă că DDR5-6000 obține cel mai bun scor cu 8647, urmat de DDR5-5600 cu 8554 și DDR4-3200 cu 8534. DDR5 obține în general scoruri mai bune decât DDR4. Din rezultatele testelor se poate remarca că diferențele între memorii sunt mici în aplicațiile standard ce sunt folosite de zi cu zi. La categoria jocuri video (Tabel III), diferențele de performanță sunt foarte mici între un modul DDR5 și DDR4, sau uneori inexistente. Totuși, în testele executate pe aplicația Adobe Lightroom (Tabel II) se remarcă o îmbunătățire în performanță de 27.7% între cele mai performante module DDR4 și DDR5. Din acest experiment observăm că eficiența ridicată se regăsește doar în anumite sarcini.

Performanțele DDR5 în lucru cu programele pe calculator sunt îmbunătățite față de DDR4 datorită vitezelor mai mari de transfer și capacității mai mari a modulelor de memorie.

Vitezele mai mari de transfer înseamnă că programele pot accesa informațiile din memoria RAM mai rapid, ceea ce poate reduce timpul de încărcare al programelor și poate îmbunătăți răspunsul sistemului în timp ce programele sunt utilizate.

Capacitatea mai mare a modulelor de memorie înseamnă că sistemul poate ține mai multe programe deschise simultan fără a suferi de scăderea performanței. Acest lucru poate fi util pentru utilizatorii care trec des între programe și care au nevoie de acces rapid la programe deschise în prealabil.

DDR5 oferă performanțe mai bune și viteze de transfer mai mari decât DDR4, ceea ce poate fi benefic pentru utilizatorii care rulează programe solicitante și care au nevoie de un acces rapid la date. În același timp, DDR5 are o capacitate de memorie mai mare și consumă mai puțină energie.

Cu toate acestea, dacă utilizatorul nu are nevoie de performanțe ridicate sau nu rulează programe foarte solicitante, DDR4 poate fi suficient pentru utilizarea programului Office 365. În concluzie, este important să se evalueze necesitățile individuale și să se ia o decizie în funcție de acestea.

Comparativ cu DDR4, DDR5 poate oferi performanțe mai bune, cum ar fi viteze de transfer mai mari și capacități mai mari de stocare, ceea ce poate duce la o experiență a utilizatorului mai bună și mai rapidă.

VIII. CONCLUZIE

În concluzie, DDR5 oferă o viteză de transfer a datelor și o capacitate mai mare, precum și o eficiență energetică îmbunătățită și caracteristici de securitate suplimentare. Noua tehnologie DDR5 este rapidă dar doar în anumite sarcini distincte se pot remarca noile îmbunătățiri, precum servere sau sarcini cu workload ridicat, care necesită multă memorie RAM și viteză sporită.

Noua arhitectură DDR5 reprezintă viitorul memoriilor RAM, cu noul modul PMIC (Power Management Integrated Circuit) implementate direct pe plăcuță, în trecut fiind prezent pe placa de bază, care aduce un consum redus de 20% în comparație cu modelul anterior, datorat reducerii puterii și prin înlocuirea canalului de 64 de biți în două sub canale de 32 biți cu intenția de a scădea latența.

Vitezele impresionante de până la 7200 Mbps al arhitecturii DDR5, fac față în mod eficient la sarcinile complexe de lucru cu date cerute. Iar din punct de vedere al gestionării energiei și stabilitatea sursei de alimentare, tehnologia DDR5 este alegerea durabilă pentru mediul înconjurător.

REFERENCES

- [1] B. Nitin, W. Randy, I. Shinichiro, F. Eiji, R. Shibata, S. Yumiko, and O. Megumi, "Ddr5 design challenges," in *2018 IEEE 22nd Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)*, May 2018, pp. 1–4.
- [2] S. Lehmann and F. Gerfers, "Channel analysis for a 6.4 gb/s ddr5 data buffer receiver front-end," in *2017 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS)*, 2017, pp. 109–112.
- [3] S. J. Park, J. J. Kim, K. Joo, Y.-H. Lee, K. Kim, Y.-T. Kim, W.-J. Na, I. Choi, H.-S. Yu, W. Kim, J. Jung, J. Lee, D. Kim, Y.-U. Chang, G. H. Han, H. Jung, S. Kang, J. Cho, H. Song, T.-Y. Oh, Y.-S. Sohn, S. Hwang, and J. Lee, "Industry's first 7.2 gbps 512gb ddr5 module," in *2021 IEEE Hot Chips 33 Symposium (HCS)*, 2021, pp. 1–11.
- [4] Z. Liu. (2022 (accessed November 26, 2022)) Ddr5 vs ddr4: Is it time to upgrade your ram? [Online]. Available: <https://www.tomshardware.com/features/ddr5-vsddr4-is-it-time-to-upgrade-your-ram>