

Savarankiškai išnagrinėtų kompiuterių architektūrų palyginimas

TMS320C28x vs. W65C816S

Karina Babenskaitė

**Elementinė bazė** - TMS320C28x

**Architektūros tipas** - TMS320C28x

**Adresai** - TMS320C28x

**Registrai** - TMS320C28x

**Požymiu bitai** - TMS320C28x

**Architektūros duomenų plotis** - TMS320C28x

**Atminties išdėstymas** - TMS320C28x

**Virtualioji atmintis** - TMS320C28x

**Komandų sistemos** - TMS320C28x

**Adresavimo būdai** - TMS320C28x

**I/O galimybės** - TMS320C28x

**Pertraukimų mechanizmai** - TMS320C28x

**Duomenų tipai** - TMS320C28x

**Greitaveika** - TMS320C28x

**Spartinanti atmintis** - TMS320C28x

Architektūrų taikymo sritys

Programinė įranga

## **ELEMENTINĖ BAZĖ - TMS320C28x**

**Elementinė TMS320 procesorių bazė:**

Šiuolaikiniai šios šeimos procesoriai buvo gaminami naudojant CMOS (senesni NMOS) technologiją. Jų elementinę bazę sudaro labai didelio integracijos masto (VLSI) integriniai grandynai (IC). Tai yra modernūs monokristaliniai procesoriai.

<https://en.wikipedia.org/wiki/TMS320>

**Fizinės įrangos savybės:**

TMS320C28x šeimos procesoriai yra 144 mm<sup>2</sup> (NFBGA) arba 289 mm<sup>2</sup> (PBGA) dydžio.

<https://www.ti.com/sitesearch/en-us/docs/universalsearch.tsp?langPref=en-US&nr=29&searchTerm=TMS320C28#q=TMS320C28>

**Energijos suvartojimas:**

Remiantis TMS320C2834x modelių specifikacija

([https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref\\_url=https%25A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346\\_31](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%25A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346_31)) energijos suvartojimas normaliomis sąlygomis (25°C) yra maždaug 290 mA (IDD + IDDIO + IDD18).

## **ARCHITEKTŪROS TIPAS - TMS320C28x**

Originalus TMS32010 ir vėlesni jo variantai yra modifikuotos Harvardo architektūros procesoriaus, turinčio atskiras adresų erdves instrukcijoms ir duomenų atminčiai, tačiau galinčio skaityti duomenų reikšmes iš instrukcijų atminties, pavyzdys.

(<https://en.wikipedia.org/wiki/TMS320>)

## **ADRESAI - TMS320C28x**

TMS320C28x nėra beadresinė mašina, dauguma bazinių instukcijų naudoja du adresus.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%25A%252F%252Fwww.google.com%252F 107](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%25A%252F%252Fwww.google.com%252F 107))

## REGISTRAI - TMS320C28x

Ši architektūra turi 34 pagrindinius pasiekiamus registus.

Registro pavadinimas	Duomenų plotis	Paskirtis
ACC	32 bitai	Pagrindinis įrenginio darbinis registras.
AH	16 bitų	Aukščiausia ACC pusė.
AL	16 bitų	Žemiausia ACC pusė.
XAR0	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
XAR1	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
XAR2	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
...	...	...
XAR7	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
AR0	16 bitų	Žemiausia XAR0 pusė (bendros paskirties).
AR1	16 bitų	Žemiausia XAR1 pusė (bendros paskirties).
AR2	16 bitų	Žemiausia XAR2 pusė (bendros paskirties).
...	...	...
AR7	16 bitų	Žemiausia XAR7 pusė (bendros paskirties).
DP	16 bitų	Duomenų puslapio rodyklė.
IFR	16 bitų	Pertraukimų žymių registras.
IER	16 bitų	Pertraukimų įjungimo registras.
DBGIER	16 bitų	Derinimo pertraukimų įjungimo registras.
P	32 bitai	Sandaugos registras. Saugo 32 bitų daugybos rezultatą.
PH	16 bitų	Aukščiausia P pusė.
PL	16 bitų	Žemiausia P pusė.
PC	22 bitai	Programos skaitiklis. Rodo į instrukciją, kuri yra vykdoma.
RPC	22 bitai	Grįžimo programos skaitiklis. Rodo, kur grįžti po instrukcijos vykdymo.
SP	16 bitų	Steko rodyklė. Leidžia naudoti programinės įrangos steką duomenų atmintyje.
ST0	16 bitų	Būsenos registras 0.
ST1	16 bitų	Būsenos registras 1.
XT	32 bitai	Dauginamojo (multiplicand) registras. Naudojamas 32 bitų sveikojo skaičiaus su ženklu vertei saugoti prieš 32 bitų daugybos operaciją.
T	16 bitų	Aukščiausia XT pusė.
TL	16 bitų	Žemiausia XT pusė.

Iš viso architektūra turi 16 pasiekiamų bendros paskirties registry.

\*23 puslapyje lentelėje parašyta, kad XAR0 turi 16 bitų duomenų dydį, tačiau platesniame registry aprašyme 28 puslapyje 2.2.6 Auxiliary Registers (XAR0-XAR7, ARO-AR7) parašyta, kad architektūra turi aštuonis 32 bitų registrus. Tai, kad XAR0 iš tiesų turi 32 bitus nurodo ir „TMS320C28x Extended Instruction Sets” 16 puslapyje.

[https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

[https://www.ti.com/lit/ug/spruhs1c/spruhs1c.pdf?ts=1765143544113&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spruhs1c/spruhs1c.pdf?ts=1765143544113&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

## **POŽYMIŲ BITAI - TMS320C28x**

Pagrindiniai TMS320C28x požymių bitai V (Overflow), N (Negative), Z (Zero), C (Carry), TC (Test/Control) saugomi ST0 registre. Papildomi požymių bitai (pavyzdžiui ARP, XF, IDLESTAT) saugomi ST1 ir IFR registruose.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F#page=29&zoom=100,0,778](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F#page=29&zoom=100,0,778) 30-43)

## **DUOMENŲ PLOTIS - TMS320C28x**

TMS320C28x architektūros vienas mašininis žodis lygus 16 bitų.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) 16)

## **ATMINTIES IŠDĖSTYMAS – TMS320C28x**

TMS320C28x architektūroje atmintis buvo segmentuota. 22 bitų programos ir 32 bitų duomenų erdvės

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) 16) buvo atskiro. Vidinė (On-Chip) atmintis suskirstyta į funkcinius segmentus (RAM, SARAM, Peripheral frames, 128-Bit Password, Boot ROM ir BROM Vector ROM, bei rezervuoti laukai). Papildomai adresų erdvėje galėjo būti prijungta išorinė atmintis per XINTF.

([https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346) 131)

Maksimalus įmanomas atminties kiekis programos erdvėje – 4M žodžių, duomenų erdvėje – 4G žodžių

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

[52F%252Fwww.google.com%252F](https://www.google.com) 16). Tipiškai TMS320C28x sistemos naudojo tik dalj vidinės atminties, priklausomai nuo programos dydžio.

## VIRTUALIOJI ATMINTIS – TMS320C28x

TMS320C28x nepalaiko virtualios atminties, nes visi adresai yra tiesioginiai, segmentuoti į programos ir duomenų erdves. Procesorius neturi MMU ar puslapiavimo mechanizmo.

## KOMANDŲ SISTEMA - TMS320C28x

TMS320C28x turi 157 unikalias mašinos komandas ([chatgpt.com](https://chatgpt.com) „Pateik sąrašą unikalių TMS320C28x instrukcijų iš duoto sąrašo ([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F) 107) 2025-12-08 2:15“). Jos gali būti skirtomos į tokias pagrindines klasės: loginės ir aritmetinės, daugybos ir kaupimo, poslinkiai ir sukimai, šakos, steko, programos ir duomenų perkėlimo, būsenos, pertraukimų ir specialios). Komandų formatas: šaltinio operandai visada dešinėje, o paskirties – kairėje (<https://www.ti.com/lit/ug/sprueo2b/sprueo2b.pdf?ts=1765115612920> 32).

Komandų pavyzdžiai

Klasė	Komandos pavyzdys	Funkcija
Aritmetinė	ADD AX, loc16	Pridėti reikšmę prie AX.
Daugybos ir kaupimo	MAC P,loc16,0:pma	Dauginti ir kaupti.
Poslinkio	LSL ACC,#1..16	Loginis poslinkis į kaire.
Šakos	B 16bitOffset,COND	Jei sąlyga patenkinama, pridėti šaką.
Steko	POP ACC	Ištraukia viršutinę steko reikšmę ir jrašo ją į akumulatorių.
Duomenų perkėlimo	MOV *(0:16bit), loc16	Perkelia reikšmę.
Būsenos	SETC Mode	Nustato nurodytus būsenos bitus.
Pertraukimų	IACK #16bit	Pertraukimo patvirtinimas.
Speciali	SQRA loc16	Kelia kvadratū nurodytą 16 bitų reikšmę ir prideda rezultatą prie P registro, jrašydama į ACC registrą.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F) 107-113)

## ADRESAVIMO BŪDAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaikė keturis pagrindinius adresavimo būdus: tiesioginis (DP), steko (SP), netiesioginis (XAR0 – XAR7), registrų

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252Fwww.google.com%252F) 80).

## I/O GALIMYBĖS - TMS320C28x

TMS320C2834x atveju architektūra palaiko šias I/O galimybes: kelių kanalų tiesioginės atminties prieigos (DMA) modulj, 32 bitų CPU laikmačius, PWM, eCAP ir eQEP modulius, analoginių jėjimų sasają (ADC), du eCAN modulius, SCI, SPI, I2C ir McBSP serijines sasajas, skaitmeninę jvestį ar išvestį (GPIO) bei išorinę sasają (XINTF).

([https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346) 92)

## PERTRAUKIMŲ MECHANIZMAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaiko tiek programų inicijuojamus (NTR, OR IFR, TRAP) tik aparatinus (pin'ų, vidinių ar išorinių periferijų) pertraukimus. Aparatiniai pertraukimai, kurie buvo suaktyvinti tuo pačiu metu, tvarkomi pagal nustatyta prioritetų sistemą. Kai kuriuose įrenginiuose naudojamas **periferijų pertraukimo išplėtimo (PIE) modulis**, kuris sujungia kelių periferijų pertraukimus į vieną CPU pertraukimo liniją. Pertraukimas skirstomi į dvi kategorijas: maskuojami (gali būti užblokuoti arba jungti per programinę įrangą) ir nemaskuojami (negali būti užblokuoti, C28x juos nedelsiant apdoroja). Pertraukimų tvarkymas vyksta keturiais etapais – pertraukimo užklausos gavimas, užklausos patvirtinimas, ISR paruošimas ir registrų reikšmių išsaugojimas, pertraukimo vykdymas.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) 53)

## DUOMENŲ TIPAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaikė fiksuoto kablelio aritmetiką su 16 ir 32 bitų skaičiais, koduotais dvejetainio papildinio formatu. Mašina taip pat palaikė trupmeninius formatus DSP operacijoms ir 64 bitų rezultatus daugybos operacijose. TMS320C28x galėjo atliki operacijas su kompleksiniais skaičiais. Slankiojo kablelio ir dešimtainių skaičių tipų architektūra aparatūros lygijo nepalaiko.

([https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) 23 ir

[https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) 107-113).

## GREITAVEIKA - TMS320C28x

### **kainos ir našumo santykis**

TMS320C2834x modelių dokumentacijoje aprašyti taktinių generatorių dažniai:

- XCLKIN - nuo 2 iki 150 MHz.

- X1 - nuo 2 iki 100 MHz.
- SYSCLKOUT – nuo 2 iki 200 MHz.
- On-chip oscillator clock – nuo 8 iki 30 MHz.
- XCLKOUT – nuo 0,5 iki 75 MHz.
- HSPCLK/EXTADCCLK – 40 MHz.
- LSPCLK – 100 MHz.

([https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346) 39)

Pagal pateiktą instrukcijų rinkinį instrukcijos užtrukdavo mažiausiai 1 ciklą, vidutiniškai 2-5 ciklus, daugiausiai 8, N + 5, N + 2 ar N + 1 ciklus. Esant 300 MHz sistemos taktui, kai dauguma instrukcijų užtrunka 2-5 ciklus, vidutinė procesoriaus greitaveika – maždaug 60-150 MIPS.

## **SPARTINANTI ATMINTIS - TMS320C28x**

TMS320C28x nenaudojo spartinančios atminties.

## **ARCHITEKTŪRŲ TAIKYMO SRITYS - TMS320C28x**

TMS320C2834x dokumentacijoje aprašyti taikymai pramoniniuose kintamosios srovės invertoriuose, pramoniniuose servo stiprintuvuose ir valdikliuose, CNC apdirbimo mašinose, nenutrūkstamo maitinimo šaltiniuose ir serverių maitinimo sistemose bei saulės energijos inverteriuose.

TMS320C28x architektūra plačiai naudojama saulės energijos inverteriuose, nes leidžia realiuoju laiku valdyti energijos konversiją iš kintančio DC į stabilių AC signalą. Procesorius vykdo greitas DSP operacijas, tokias kaip MPPT (maksimalaus galios taško sekimas) ir PWM moduliaciją, užtikrinančią maksimalų energijos panaudojimą iš saulės modulių ir aukštą inverterio efektyvumą. Dėl tikslų skaitmeninių valdymo algoritmu ir mažų vėlinčiųjų C28x ypač tinkta aukšto našumo, patikimiems saulės energijos keitimams. ([www.chatgpt.com](http://www.chatgpt.com) „Trumpai pateik informaciją apie konkretų TMS320C28x taikymą saulės invertoriuose. 2025-12-08 18:14“)

## **PROGRAMINĖ JRANGA - TMS320C28x**

Kiek programinės jrangos buvo parašyta kiekvienai aptariamai architektūrai, ar ji (vis dar) prieinama, kur ji buvo naudojama? Kokie buvo prieinami kompiliatoriai ir programavimo įrankiai (derintojai, profiliuotojai, surinkėjai)? Kokios programinės jrangos bibliotekos buvo prieinamos?

TMS320C28x sukurta programinės įrangos paketai: C2000Ware, DesignDRIVE ir powerSUITE. Visi jie yra pasiekiami oficialiaiame Texas Instruments gamintojo puslapyje. Šios programinės priemonės naudojamos pramoniniuose inverteriuose, servo pavarose, robotikoje, CNC įrangoje, UPS ir saulės inverteriuose. Programavimui naudojama Code Composer Studio IDE, kuri apima C/C++ kompiliatorių, derintuvą, profilerį ir projektų kūrimo įrankius. Be to, įrenginiai palaiko programavimą naudojant C2000 Gang Programmer.

(<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28341.pdf?ts=1765204916614> 155 ir  
<https://www.ti.com/>).

TMS320C28x:

[https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

[https://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO\\_public\\_sw/c28x2808/C28x%20Workshop.pdf](https://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO_public_sw/c28x2808/C28x%20Workshop.pdf)

W65C816S:

<https://www.westerndesigncenter.com/wdc/documentation/w65c816s.pdf>