

Sisteme cu F. P. G. A. și D. S. P.

– Introducerea în domeniul sistemelor de calcul pe bază de D. S. P. –

I. INTRODUCERE:

În aria disciplinelor tehnico - fenomenologice precum ingineria electrică și alte discipline conexe sau adiacente, utilizarea unui **sistem de calcul** a devenit absolut indispensabilă în vederea supravegherii, observării, reglării și controlului proceselor și fenomenelor specifice respectivelor domenii de activitate. Fie că este vorba despre procese simple (precum interfațarea fenomenului cu acțiunea factorului uman), sau procese automate complexe (controlul automat al parametrilor unui convertor electronic de putere ex. algoritmul controlului vectorial), la baza logicii de comandă și control stă un **sistem numeric sau digital de calcul și decizie, reprogramabil**.

În cazul unui **dispozitiv de reglare automată unificat sau singular de sine stătător**, sistemul de calcul reprezintă **unitatea centrală de coordonare și decizionare a procesului** (ex. unitatea centrală de control al procesului de injecție pentru carburant al unui motor cu ardere internă, sau etajul de gestionare al celulelor unui banc de acumulatori).

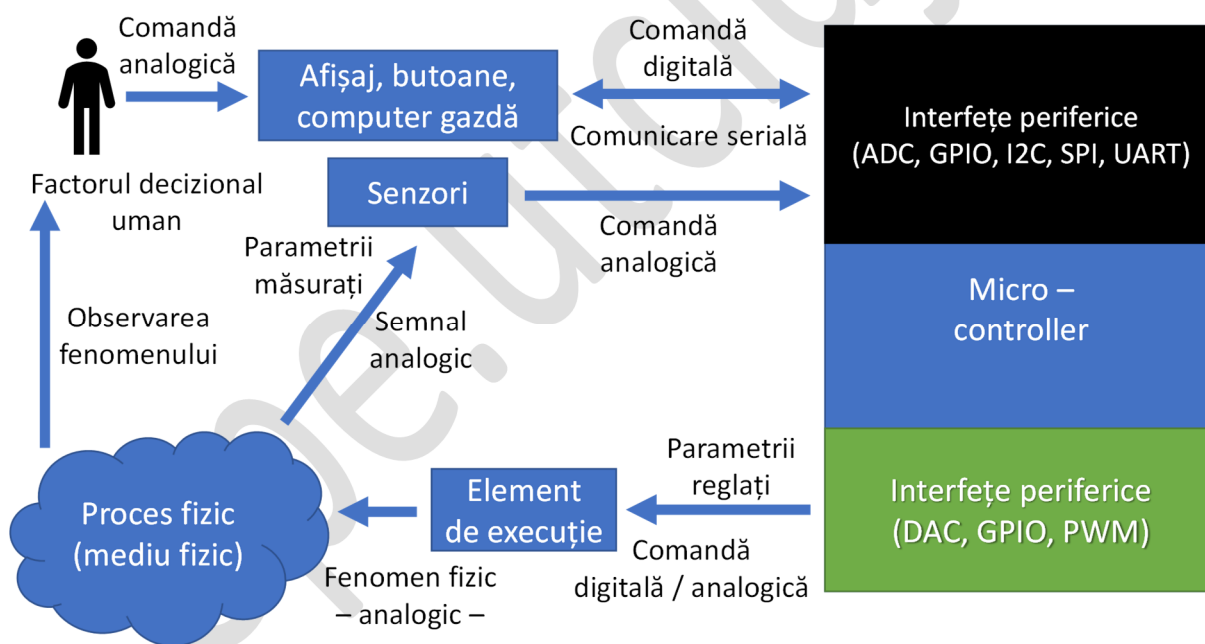


Fig. 1 – Dispozitiv de reglare automată unificat singular îndeplinind funcția de interfațare ^[1]

În cazul unei **instalații complexe de reglare automată distribuită** (cu mai multe etaje de automatizare), controlul proceselor se realizează utilizând o **rețea de sisteme de calcul distribuite**, fie **coordonate de un sistem centralizat de calcul** (ex. computerul central al unui autovehicul), fie **doar prin grupări locale independente de logica întregului sistem** (centralinele auxiliare locale ale unor senzori cu protocol de comunicație ex. sistemul de ventilație al computerului personal – magistrala SMBUS – I²C). Gestionarea sistemului de ventilație al unui computer personal

poate fi realizată atât independent față de procesorul calculatorului cât și subordonat procesorului principal al calculatorului (management termic).

Astfel, pentru fiecare funcție indeplinită în cadrul proceselor de automatizare, există **sisteme de calcul specializate** în vederea satisfacerii acestor nevoi. Amintim astfel:

- micro – controllerele, deservind funcția de interfațare (om și proces sau proces și proces);
- procesoarele digital de semnal (pot realiza calcule complexe într-un interval de timp scurt);
- micro – computerele (pot rula un sistem de operare și mai multe aplicații în paralel);

În cazul unui **dispozitiv complex** (ex. variator de frecvență industrial pentru controlul digital de la distanță a mașinilor de inducție asincrone), **toate cele trei categorii de sisteme de calcul** amintite se regăsesc în componența unui singur aparat. Acest aparat deci, permite atât **conectarea la rețeaua locală** (prin intermediu micro – computerului) pentru acces în sistem SCADA (eng. Supervisory Control and Data Acquisition), cât și **controlul direct din interfața frontală cu ecran și butoane** (prin intermediul micro – controllerului), pentru parametrizare la fața locului a convertorului. **Generarea de impulsuri pentru etajele electronice de putere**, se realizează pe baza procesorului digital de semnal (eng. D.S.P.).

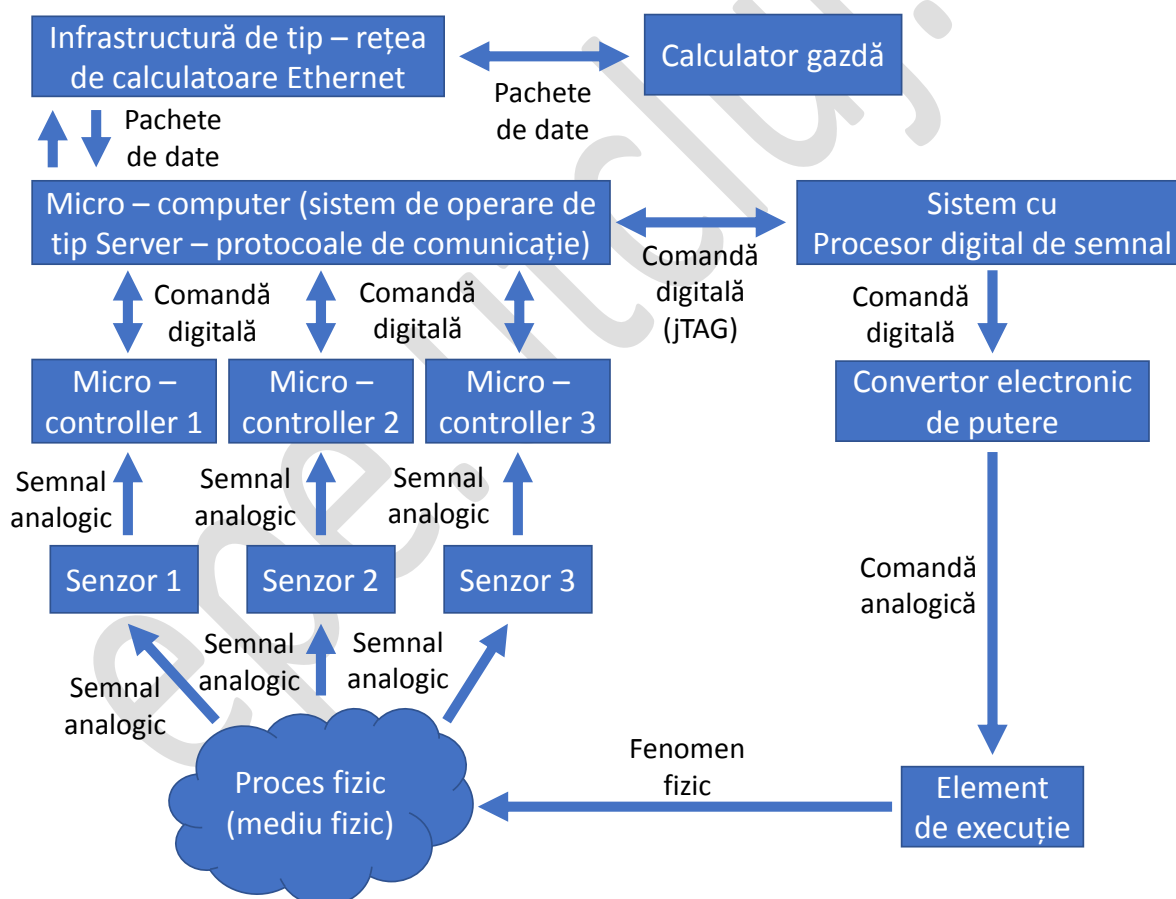


Fig. 2 – Dispozitiv complex sau instalație de automatizare, rețea de sisteme de calcul ^[1]

Procesoarele digitale de semnal (eng. **Digital Signal Processors**), reprezintă sistemele de calcul de sine stătătoare cu structura internă cea mai complexă din punct de vedere fizic (hardware). Pe lângă unitatea de calcul (procesorul în sine), în aceeaș capsulă, un procesor digital de semnal înglobează și diverse periferice specializate în procesarea digitală a semnalului (ex. comparatoare digitale, convertoare analog - digitale și invers, unități PWM).

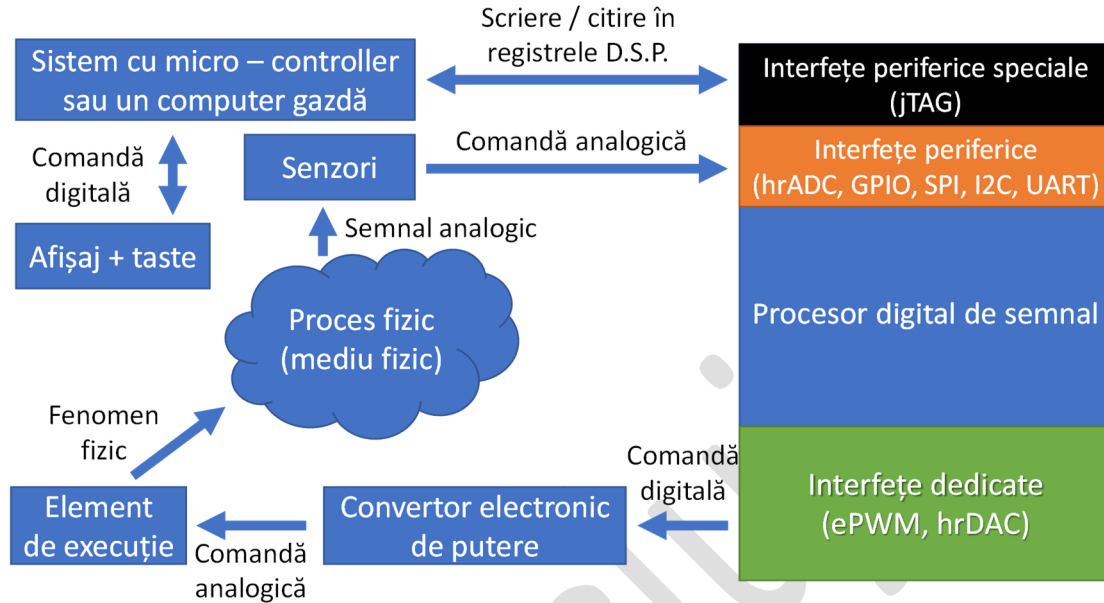


Fig. 3 – Exemplu de aplicație deservită de un procesor digital de semnal^[1]

În viața de zi cu zi, procesoarele digitale de semnal, constituie o gamă destul de vastă de aplicații, nu doar în ceea ce privește ingineria electrică, ci în orice aplicație din industria multimedia, industria telecomunicațiilor, industria medicală sau domeniul militar. Procesoarele digitale de semnal, pe lângă faptul că pot manipula șiruri unidimensionale, întregi de valori instantanee (variabile în timp), pot de asemenea, să gestioneze matrici bidimensionale, semnale matriceale complexe precum imaginile. Cu ajutorul procesoarelor digitale de semnal pot fi realizați diverși algoritmi de filtrare digitală a zgomotelor, atât din imagini cât și din secvențe sonore înregistrate (ex. Texas Instruments TMS320C6713 DSP).



Fig. 4 – Texas Instruments TMS320C6713 DSP – procesor multimedia^[2]

Ca și în cazul micro-controllerelor, procesoarele digitale de semnal încorporează dispozitive periferice specializate, prin intermediul cărora, pot gestiona stimuli / semnale electrice externe, spre exemplu:

- intrări și ieșiri digitale de uz general (eng. General Purpose Input / Output – GPIO);
- convertoare analog – digitale (eng. Analog to Digital Converter – ADC);
- convertoare digital – analogice (eng. Digital to Analog Converter – DAC);
- generatoare de semnale modulate (eng. enhanced Pulse Width Modulation – ePWM);
- interfețe specializate pentru comunicație (SPI, I²C, UART, JTAG, CAN, QEP etc...);

În domeniul ingineriei electrice, procesoarele digitale de semnal, se utilizează cu scopul generării, achiziționării, sau filtrării semnalului. Electronica de putere și acționările electrice constituie un domeniu vast de aplicabilitate pentru procesoarele digitale de semnal. Strategia de comandă și control a unui convertor electronic de putere, de cele mai multe ori, este implementată digital cu ajutorul unui procesor digital de semnal. Din acest motiv, au apărut pe piață, diverse familii de procesoare digitale de semnal specializate pentru anumite aplicații:

II. ARHITECTURA ȘI CARACTERISTICILE UNUI PROCESOR DIGITAL DE SEMNAL:

Familia TMS320 - C2000 de la Texas Instruments, constituie o gama variată de procesoare digitale de semnal specializate pentru domeniul Ingineriei Electrice, mai precis, pentru electronica de putere și sistemele de acționare electrică având ca destinație controlul mașinilor electrice de diverse tipuri. În cadrul acestei discipline vom studia familia de procesoare digitale de semnal Texas Instruments TMS320 - C2000 – F28069M, sub forma unei platforme de dezvoltare de tip Texas Instruments LaunchPAD.



Fig. 5 – Platforma de dezvoltare Texas Instruments C2000 F28069M – LaunchPAD

Dotări ale platformei F28069M – LaunchPAD:

Unitatea de procesare:

- unitate de procesare cu set de instrucțiuni cu reprezentare pe 32 de biți;
- frecvență de lucru 90 [MHz] – oscilator intern cu posibilitatea instalării oscilatorului extern;
- registru de forma 16 x 16 și 32 x 32 pentru operații de înmulțire și stocare sau acumulare;
- arhitectură HARVARD;
- unitatea pentru procesare numerelor cu virgulă mobilă (eng. floating point);

Memorie:

- 256 [KB] memorie flash;
- 100 [KB] memorie RAM;
- 2 [KB] memorie ROM programabilă o singură dată;
- 6 canale pentru accesare directă a memoriei (eng. Direct Memory Access – DMA);
- code de securitate pentru blocarea zonelor de memorie;

Dispozitive fizice externe:

- terminal pentru buton de resetare;
- terminal pentru alimentare la tensiunea de 3.3 [V];
- unitate pentru detecția pierderii tensiunii de alimentare;

Periferice specializate:

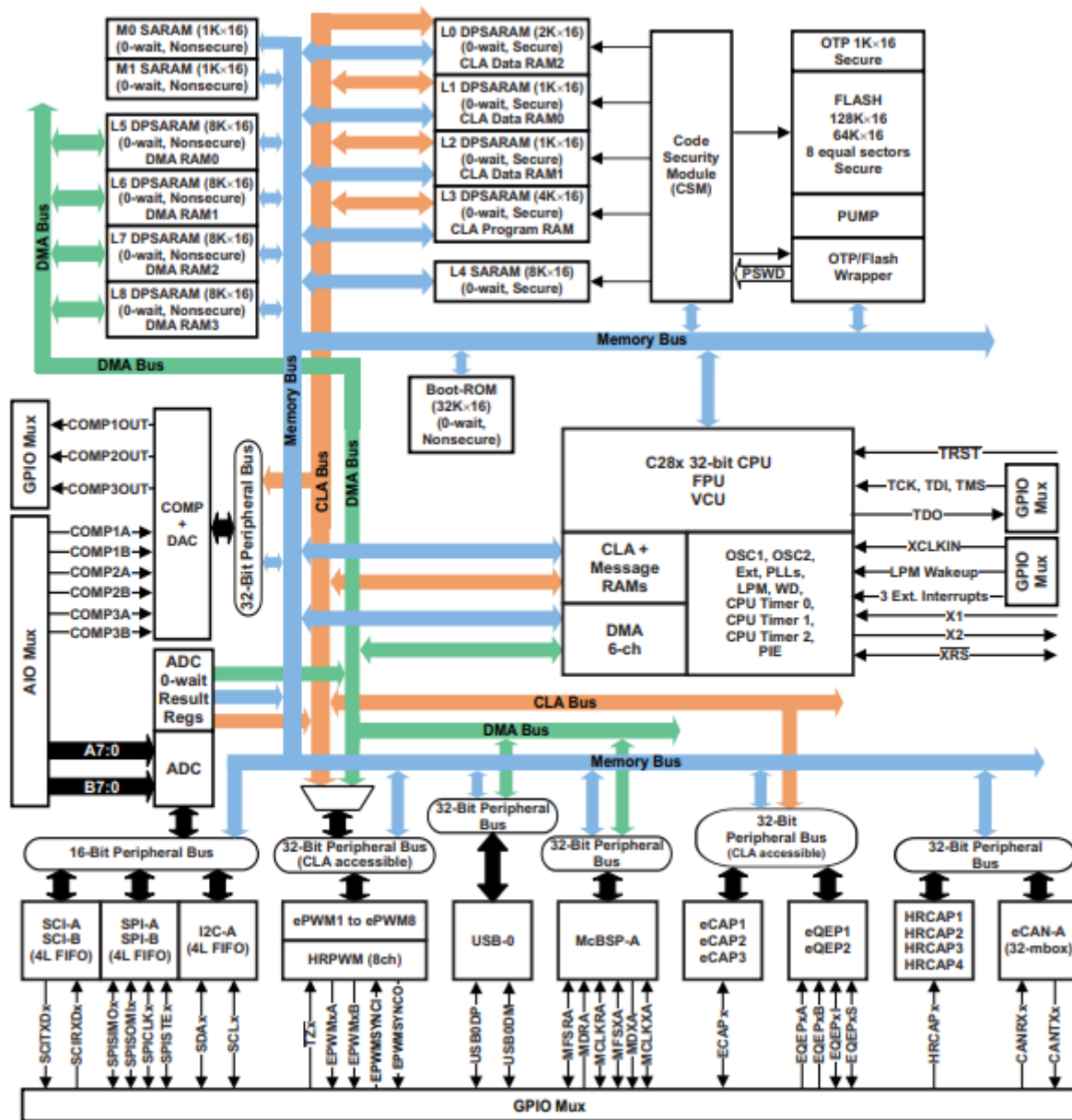
- divizoare de frecvență;
- numărătoare;
- comparatoare;
- unitate pentru generarea semnalului modulat în lățime (rezoluție 16 bit) (ePWM);
- modul pentru captarea semnalelor digitale la viteză mare (eCAP);
- interfață pentru encoder;
- convertor analog – digital cu rezoluție pe 12 biți;
- senzor intern de temperatură;
- intrări și ieșiri digitale de uz general;
- interfețe serial pentru comunicare (UART, I²C, SPI, CAN, JTAG);

Perifericele frecvent utilizate în ingineria electrică, mai precis în partea de electronică de putere și acționări electrice, sunt convertorul analog – digital (ADC), intrările și ieșirile de uz general (GPIO), unitățile pentru generarea semnalelor modulate (ePWM) și interfețele de comunicare cu alte echipamente (UART, CAN, SPI, I²C, JTAG).

Interfațarea cu calculatorul gazdă, a unui procesor digital de semnal, în vederea depanării în timp real și a reprogramării se realizează prin intermediul interfeței JTAG. Această interfață, permite interogarea în lanț a tuturor perifericelor fără a suspenda execuția programului din memorie. Traseele de comunicație a interfeței JTAG sunt independente față de magistrala comună de date a sistemului de calcul. Astfel, interfața JTAG poate fi considerată mai mult, o interfață de diagnoză și depanare decât o banală interfață de comunicare. În cadrul platformei F28069M LaunchPAD, interfața JTAG este implementată pe baza adaptorului

JTAG la USB Spectrum Digital XDS 100v2 cu posibilitatea de funcționare în versiunea 100v1. Prin intermediul acestui adaptor, calculatorul gazdă poate reprograma procesorul platformei.

Astfel, datorită diversității funcționale redată de numărul mare de dispozitive periferice și dotări, nucleul F28069M este specializat pentru aplicațiile din ingineria electrică. Acest nucleu de procesare, conferă soluția compactă și eficientă din punct de vedere energetic, arhitectura completă, pregătită pentru implementarea aplicațiilor complexe:



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

Fig. 6 – Diagrama bloc funcțională a nucleului F28069M [3]

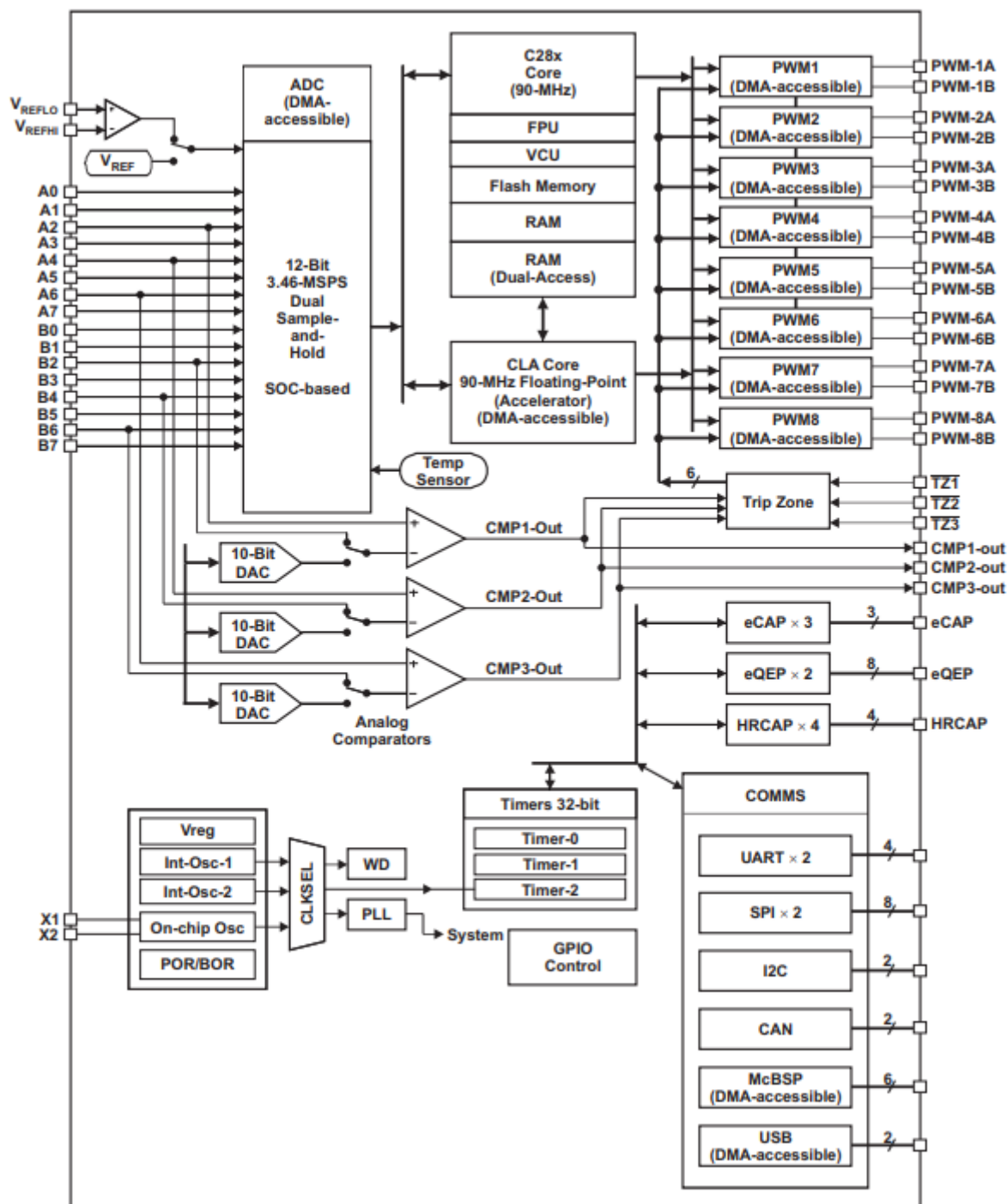


Fig. 7 – Arhitectura internă a nucleului F28069M [3]

Convertorul analog – digital, constituie componenta de bază prin intermediul căreia, se pot prelua semnale de natură analogică. În cazul unui procesor digital de semnal din familia C2000 modelul F28069M, convertorul analog digital, are rezoluția 12 biți, și este alimentat la tensiunea de 3,3 [V], ceea ce înseamnă că precizia sa „x” ar fi de 0.8 [mV] per pas deoarece:

$$U_{ref} = 3,3 [V]; \quad 12 \text{ bit} = (2^{12}) - 1 = 4095; \quad x = \frac{3,3}{4095} = 0,0008 [V] \rightarrow 0,8 [mV];$$

Observație: Precizia unui convertor analog – digital depinde de tensiunea de referință și rezoluția acestuia! Vom lua spre exemplu, același tip de convertor alimentat la 5 [V] referință:

$$U_{ref} = 5 [V]; \quad r = 12 \text{ bit} = (2^{12}) - 1 = 4095; \quad x = \frac{5}{4095} = 0,001 [V] \rightarrow 1 [mV];$$

De asemenea, pentru un convertor analog – digital având rezoluția 10 biți avem:

$$U_{ref} = 5 [V]; \quad r = 10 \text{ bit} = (2^{10}) - 1 = 1023; \quad x = \frac{5}{1023} = 0,004 [V] \rightarrow 4 [mV];$$

$$U_{ref} = 3,3 [V]; \quad r = 10 \text{ bit} = (2^{10}) - 1 = 1023; \quad x = \frac{3,3}{1023} = 0,003 [V] \rightarrow 3 [mV];$$

Reamintim principiul de funcționare al unui convertor analog – digital (ex. rezoluție - 4 biți):

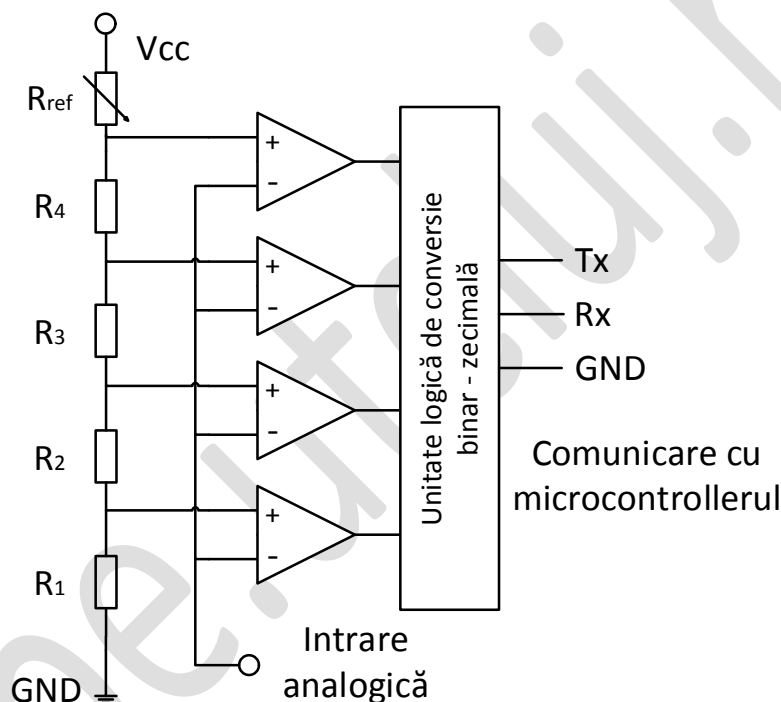


Fig. 8 – Schema de principiu a unui convertor analog – digital (eng. ADC) ^[1]

Pentru un convertor digital – analog având rezoluția pe 4 biți, există 2^4 combinații posibile rezultate de către comparatoare, adică 16 combinații (având în vedere și poziția de zero). Tensiunea de referință, este divizată în 4 nivele de tensiune, iar fiecare nivel, reprezintă tensiunea de referință pentru un comparator. Intrarea analogică, furnizează tensiunea care se dorește a fi măsurată, față de punctul comun de masă. La satisfacerea condiției de egalitate de potențial între bornele comparatorului (+ / -) acesta ca returna valoarea „1” la ieșire. Unitatea logică de conversie binar – zecimală, va interpreta combinația logică formată, și va înainta rezultatul înspre micro-controller. Valoarea numerică formată, nu reprezintă nivelul de tensiune măsurat, ci reprezintă valoarea convertorului analog – digital. Pentru a determina nivelul de tensiune măsurat, cu ajutorul unui convertor analog – digital, se procedează astfel:

Fie „x”, precizia unui convertor analog – digital „r” rezoluția egală cu 10 biți, iar tensiunea de referință 5 [V]. Să se determine nivelul de tensiune măsurat cu ajutorul convertorului analog - digital, pentru care indicația numerică ar fi 345:

$$U_{ref} = 5 [V]; \quad r = 10 \text{ bit} = (2^{10}) - 1 = 1023; \quad x = \frac{5}{1023} = 0,004 [V] \rightarrow 4 [mV];$$

$$ADC = 345; \quad U_{m\grave{a}s} = ADC \cdot x = ADC \cdot \frac{U_{ref}}{(2^{10}) - 1} = 345 \cdot \frac{5}{1023} = 1,38 [V];$$

Astfel, pentru a calcula nivelul de tensiune pe baza indicație convertorului se dă relația:

$$U_{m\grave{a}s} = ADC \cdot x = ADC \cdot \frac{U_{ref}}{r}$$

Unde „ADC” reprezintă indicația numerică, citită de la convertorul analog – digital, „x” precizia convertorului, „r” rezoluția, iar „U_{ref}” tensiunea de referință a convertorului.

În cazul procesorului F28069M arhitectura unității convertorului analog – digital, pe lângă convertor, aceasta mai înglobează și alte dispozitive, pentru sincronizare și eșantionare

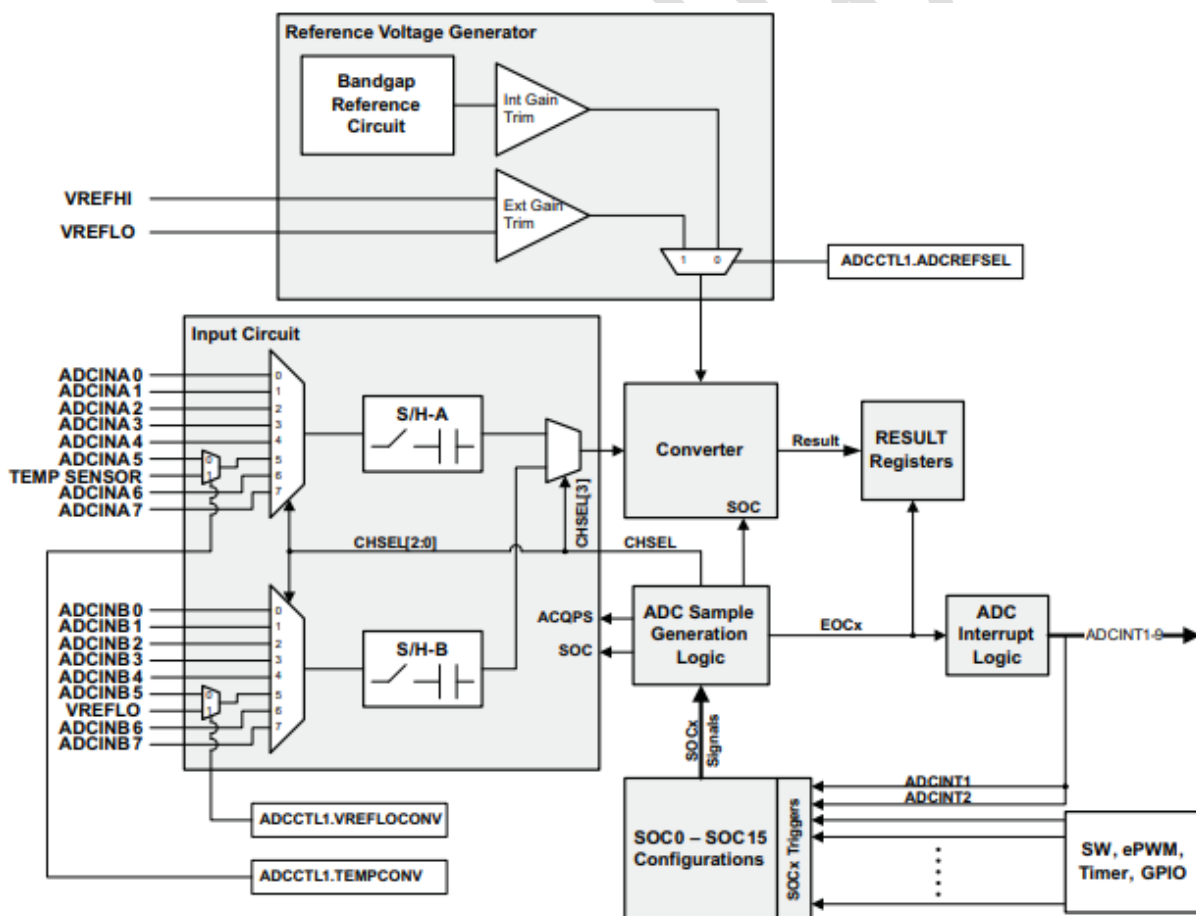


Fig. 9 – Arhitectura unității convertorului analog – digital din cadrul procesorului F28069M [3]

Pe lângă convertorul analog – digital (eng. Analog to Digital Converter – ADC), există și unitatea convertorului digital – analog (eng. Digital to Analog Converter – DAC), care realizează operația inversă citirii analogice. Adică, prin intermediul unei valori numerice digitale (binare), se activează, pe rând, mai multe nivele de tensiune, care, însumate, realizează un semnal discret cu amplitudine variabilă. Activarea tranzistoarelor rând pe rând, se realizează prin intermediul ieșirilor digitale de uz general (eng. GPIO) cuplate într-un registru de tip port (în cazul procesorului TMS320 F28069, un port este construit din doi regiștri a câte 8 biți, adică, 16 biți „DAC_HI” și „DAC_LO”). Pe același principiu funcționează și placa de sunet a calculatorului. Precizia unui convertor digital – analog depinde de rezoluția sa, care la rândul ei, poate fi reprezentată prin numărul de comutatoare și rezistențe, care realizează nivelele de tensiune. Relațiile de calcul, pentru rezoluție, precizie și nivelul de tensiune furnizat se aplică, la fel ca și în cazul convertorului analog – digital. Amplificatorul operațional de la ieșirea modulului, funcționează în mod sumator. Ieșirea modulului poate fi accesată în mod fizic la exterior prin intermediul ieșirilor analogice „DAC1” și „DAC2”, sau pot fi conectate intern, direct la comparatorul de referință al unității PWM.

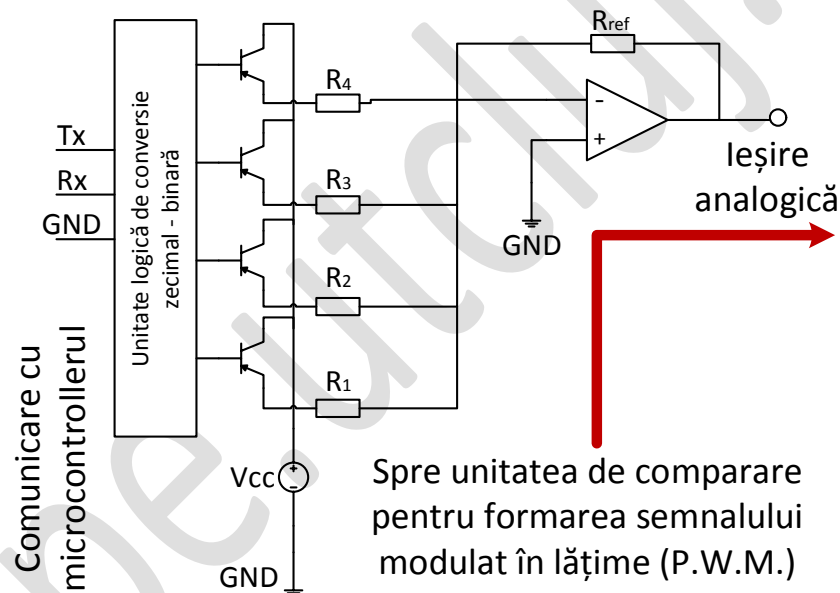


Fig. 10 - Schema de principiu a unui convertor digital – analog (eng. DAC) ^[1]

Generatorul de semnale modulate în lățime, reprezintă de asemenea, una dintre unitățile de interes în electronica de putere. Procesorul F28069M conține opt unități independente pentru generarea impulsurilor modulate în lățime (ePWM) cu două canale (adică 16 ieșiri PWM). Rezoluția acestora este de 16 biți.

Reamintim principiul de funcționare al generatorului de semnal modulat în lățime. Forma de undă triunghiulară „y(t)”, se numește „undă purtătoare sau modulatoare” (eng. carrier wave). Aceasta este generată de către un circuit logic de tip „numărător” programabil, care, în funcție de parametrii dați, realizează operația de incrementare sau decrementare în așa fel încât să producă forma de undă triunghiulară. Frecvența undei purtătoare, definește frecvența semnalului modulat în lățime.

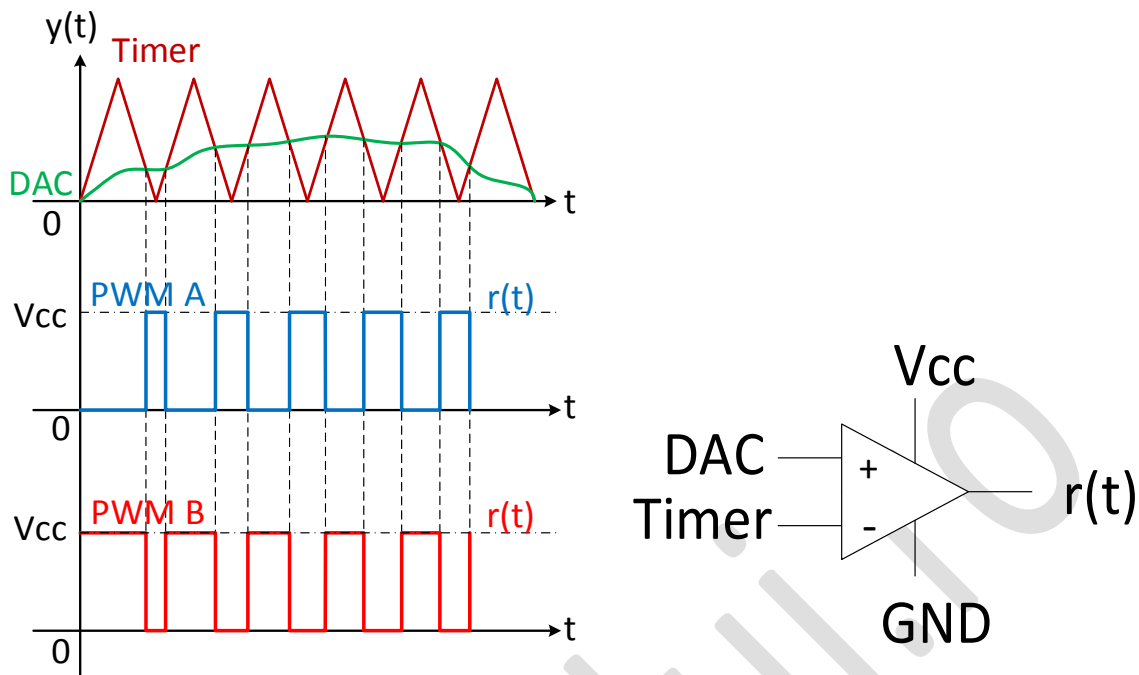


Fig. 11 – Principiul de funcționare al generatorului de semnal modulată în lățime ^[1]

Pentru a realiza trenul de impulsuri dreptunghiular, cu factor de umplere variabil, rezultatul unui convertor digital – analog (eng. DAC) și forma de undă triunghiulară, sunt introduse într-un comparator (fig. 11). La intersecția celor două forme de undă, se generează un impuls la ieșirea comparatorului. Important de menționat, este faptul că amplitudinea maximă atât a undei purtătoare, cât și a semnalului furnizat de către convertorul digital analog este „1”, adică, amplitudine unitară. Acesta este motivul, pentru care, factorul de umplere poate fi exprimat în procente sau în fracții subunitare (ex. 0,1 0,99). Factorul de umplere, poate fi controlat prin intermediul tensiunii variabile de la ieșirea convertorului digital – analog, de la 0% la 100% în „65536” (16 – biți = 2^{16}) de trepte (luând în calcul și treapta de 0%). Perioada și frecvența trenului de impuls (perioada sau frecvența undei purtătoare) se pot determina cu ajutorul următoarelor relații de calcul:

$$T_p = \frac{f_{osc}}{2} = \frac{f_{osc}}{2 \cdot f_c} \rightarrow f_c = \frac{f_{osc}}{2 \cdot T_p}$$

Unde „ T_p ” reprezintă perioada unității de temporizare (eng. Timer Period), „ f_{osc} ” reprezintă frecvența oscilatorului (în cazul de față 90 [MHz]), iar „ f_c ” reprezintă frecvența dorită pentru unda purtătoare, implicit, frecvența trenului de impulsuri dreptunghiulare. Spre exemplu:

Fie: $f_{osc} = 90$ [MHz] = 90000000 [Hz]. Să se determine perioada necesară pentru ca $f_c = 30$ [kHz]:

$$T_p = \frac{90000000}{2 \cdot 30000} = 1500 \rightarrow f_c = \frac{90000000}{2 \cdot 1500} = 30000$$
 [Hz] $\rightarrow 3$ [kHz]

Factorul de umplere poate fi determinat, în funcție de indicația numerică astfel:

Fie indicația numerică „PWM = 32560”. Pentru o unitate PWM cu rezoluția pe „r = 16 biți”, să se determina factorul de umplere „d”.

$$r = 16 \text{ bit} = (2^{16}) - 1 = 65535; \quad x = \frac{1}{r} = \frac{1}{65535} = 0,00001;$$

$$d = PWM \cdot \frac{1}{r} = 32560 \cdot \frac{1}{65535} = 0,49 \rightarrow 49\%$$

Intrările și ieșirile (digitale), de uz general (eng. General Purpose Input / Output), reprezintă zone de memorie sub formă de regiștri (de dimensiunea unui octet – eng. byte, adică 8 biți) numiți „PORT”. Înscrierea valorilor binare în acești regiștri, va avea ca efect, furnizarea nivelului logic de tensiune de referință (3,3 [V]) la terminalul corepsunzător (activarea ieșirii digitale). Terminalele fizice externe (pinii) pot fi configurați să lucreze atât ca și intrări digitale, cât și ca ieșiri digitale. În cazul în care, terminalele sunt configurate în modul de intrări digitale, acestea vor fi conectate la un comparator intern, astfel, se vor avea în vedere două situații: punere la sursă (eng. pull – UP) și punere la masă (eng. pull – DOWN).

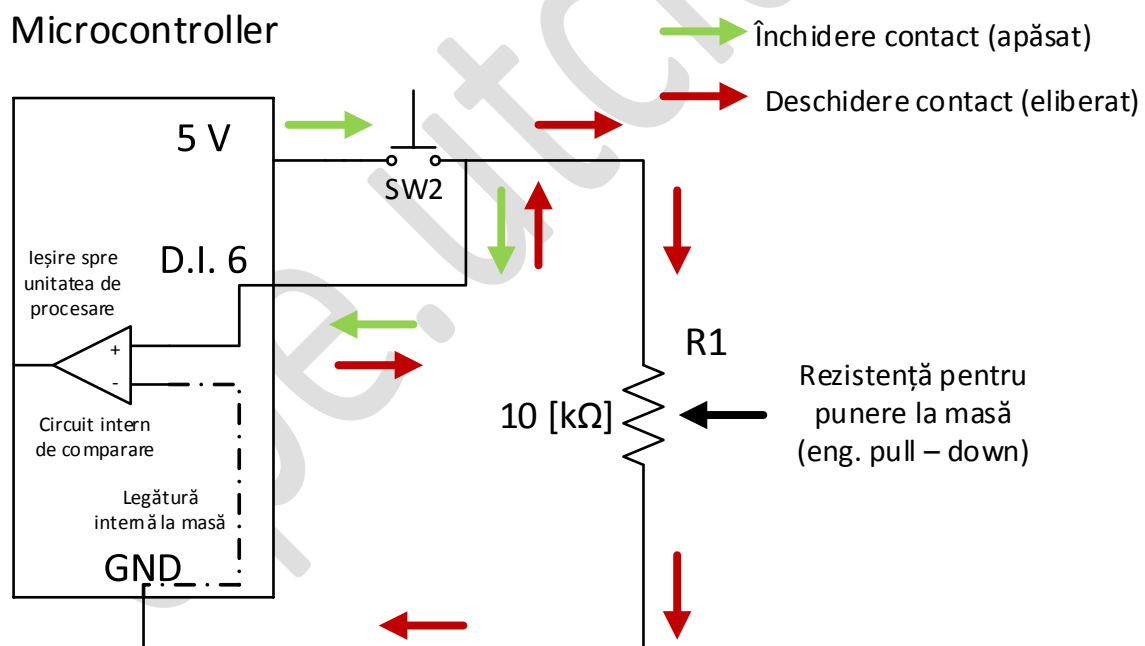


Fig. 12 – Intrare digitală cu rezistență de punere la masă [1]

În cazul în care, în circuit, apare o rezistență pentru punere la masă și un întreruptor (fig. 12), comparatorul va indica starea „logic 1” sau „ACTIV” (eng. HIGH), la apăsarea butonului. Rolul rezistenței în acest caz, este de a elimina posibilitatea introducerii zgomotelor parazite în momentul în care butonul nu e apăsât și intrarea comparatorului rămâne liberă. Totodată, rezistența mai are și rolul de a proteja împotriva posibilității de scurt – circuit.

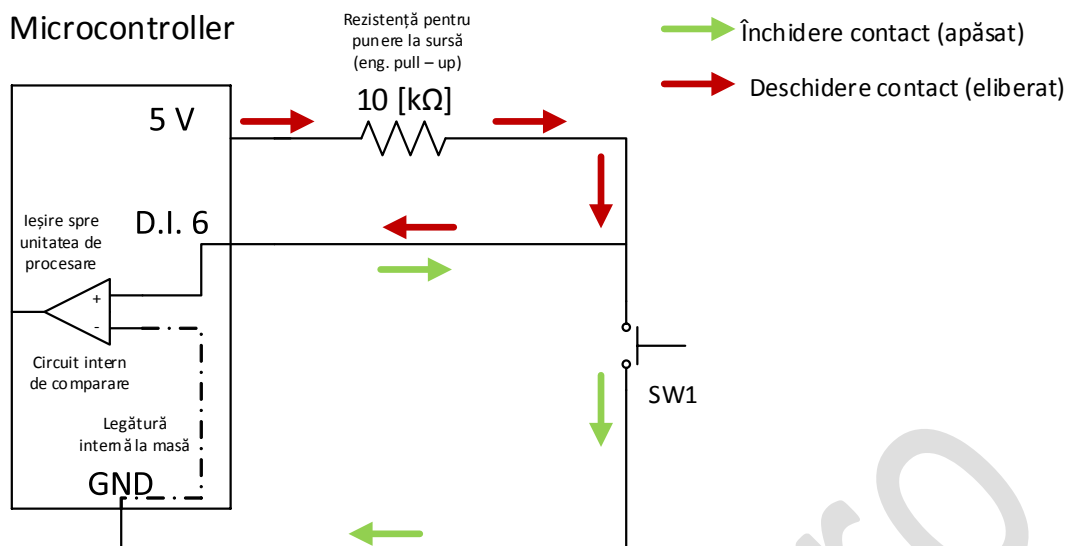


Fig. 13 - Intrare digitală cu rezistență de punere la sursă ^[1]

În cazul existenței în circuit a unei rezistențe de punere la sursă (fig. 13) (eng. pull - UP), comparatorul va furniza la ieșire, starea logic „1”, ACTIV (eng. HIGH), atunci când butonul nu este apăsat. Practic, realizând astfel circuitul, logica de semnal va fi negată. Rolul rezistenței în acest caz, este de a limita curentul în momentul apăsării butonului.

III. BIBLIOGRAFIE:

1. Teodor Crișan Pană – „Sisteme de calcul cu microprocesoare, FPGA și DSP” – Editura UTPRESS, Cluj – Napoca, 2016 – ISBN 978-606-737-206-9;
2. Ioana – Cornelia GROS, Lucian – Nicolae PINTILIE, Teodor Crișan PANĂ – „SISTEME EMBEDDED ÎN INGINERIE ELECTRICĂ - GHID DE APLICAȚII” – Editura UTPress Cluj – Napoca, 2020 ISBN 978-606-737-431-5:
(<https://biblioteca.utcluj.ro/files/carti-online-cu-coperta/431-5.pdf>);
3. PicClickImg – Texas Instruments TMS320C6713 DSP IMG:
(https://www.picclickimg.com/d/l400/pict/222827440707/_Tms320C6713-Dsp-Starter-Kit.jpg);
4. Texas Instruments - Catalog TMS320F2806x:
(<http://www.ti.com/lit/ds/sprs698h/sprs698h.pdf>);
5. Texas Instruments – Manual tehnic de referință:
(<http://www.ti.com/lit/ug/spruh18h/spruh18h.pdf>);