

Măsurarea numerică a tensiunilor



Sursa: Agilent Technologies (www.educatorscorner.com)

1

Cuprins

- 3 definiții: precizie, rezoluție, sensibilitate
 - Moduri de specificare a preciziei; calculul erorii
 - Legătura dintre "N" cifre ale DMM – "n" biți ai CAN
 - Definiție: ENOD
- Rapoarte de rejecție: RRM, RRS
- Voltmetre/multimetre de c.c.
 - Divizorul de intrare în modurile V-metru/A-metru
 - RRS prin integrare și RRS prin filtrare suplimentară FTJ
 - V-metre pentru semnale mici: amplificatorul cu chopper
- Semnale alternative: valori măsurate
- Voltmetre de c.a.
 - Voltmetre non- True RMS (folosind detector oarecare)
 - Voltmetre True RMS
- Moduri de conectare la bornele voltmetrului pentru îmbunătățirea RRM: 2 / 3 (Hi-Lo-Gnd) / 4 (Hi-Lo-Gnd-Guard) borne

2

3 definiții

- *Precizia (accuracy)* – măsura în care valoarea afișată diferă de valoarea adevărată (eroarea)
- *Rezoluția (resolution)* – cea mai mică valoare a semnalului care poate fi afișată pe o anumită scară
- *Sensibilitatea (sensitivity)* – cea mai mică variație a semnalului care poate fi detectată

Obs.: sensibilitatea = rezoluția pe scara cea mai sensibilă.

3

DC VOLTAGE

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY 23°C ± 5°C ±(ppm of rdg. + ppm of range)		INPUT RESISTANCE
		90 DAY	1 YEAR	
100.0000 mV	0.1 μV	40 + 35	50 + 35	> 10 GΩ
1.000000 V	1.0 μV	25 + 7	30 + 7	> 10 GΩ
10.00000 V	10 μV	20 + 5	30 + 5	> 10 GΩ
100.0000 V	100 μV	30 + 6	45 + 6	10 MΩ ±1%
1000.000 V	1 mV	35 + 6	45 + 6	10 MΩ ±1%

Accuracy Specifications ± (% of reading + % of range)

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23°C ± 1°C	90 Day 23°C ± 5°C	1 Year 23°C ± 5°C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010

Accuracy is expressed as ±(percentage of reading + digits).

1. DC VOLTAGE OR DCV OF RIPPLE FUNCTION

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY	INPUT IMPEDANCE
500mV	10 μV	0.02%+4	10MΩ
5V	100 μV		11.1 MΩ
50V	1mV		10.1MΩ
500V	10mV		10MΩ
1000V	100mV		10MΩ

Specificarea
preciziei în
manual:

Keithley

Agilent

GW-Instek

(obs. 3 moduri
diferite de
specif.)

4

Specificarea preciziei (sub forma erorii absolute limită)

La DMM recente nu se mai specifică clasa de precizie C, ci eroarea absolută limită, care este egală cu (3 moduri uzuale) :

1. % din U_x + % din U_{CS}
2. ppm din U_x + ppm din U_{CS}
(1ppm = 10^{-6} = $10^{-4} \cdot 10^{-2}$ = 0.0001%; 10000ppm = 1%)
3. % din U_x + număr cifre (LSD)

Memento METc: $\epsilon_r = e_{abs}/U_x$; $\epsilon_{RAP} = C [\%] = e_{abs}/U_{CS}$

$\Rightarrow e_{abs \text{ lim}} = \epsilon_r U_x + C U_{CS}$ similar cu (1) și (2)

5

Eroarea limită - expr. absolută

Accuracy Specifications $\pm$ (% of reading + % of range)

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23°C $\pm$ 1°C	90 Day 23°C $\pm$ 5°C	1 Year 23°C $\pm$ 5°C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010

Q1: identificați termenii din formula erorii limită (ex. Agilent)

Q2: cât este eroarea limită absolută la măsurarea unei tensiuni $U_x=2V$ cu acest aparat, la un an de la calibrare ?

A2: $0.00007V + 0.00005V = 0.00012V = 0.12mV$

Q3: cât este rezoluția pe scara respectivă? rezoluția *bună* e *mică* sau *mare*?

Q4: determinați clasa de precizie a aparatului ! pe care din cele 2 valori din tabel o folosiți?

Q5: de ce clasa de precizie e mai mare (mai proastă) pe scara de 100mV ?

6

Legătura N cifre ale DMM – n biți ai CAN

parametrii DMM: $N_{\max}$ = nr. max. afișat (engl. *counts*)

N_{dig} = nr. cifre

ΔV = rezoluția

parametrii CAN: V_{REF} și n biți

$$\text{DMM: } \Delta V = V_{\text{REF}} / N_{\max}$$

$$\text{CAN: } \Delta V = V_{\text{REF}} / N_{\max}$$

$$\text{DMM: } N_{\max} = 10^{N_{\text{dig}}}$$

$$\text{CAN: } N_{\max} = 2^n$$

$$\text{DMM: } N_{\text{dig}} = \lg(N_{\max})$$

$$\text{CAN: } n = \log_2(N_{\max})$$

Exemplu:

Q: DMM cu $V_{\text{REF}}=20\text{V}$, $\Delta V = 100\mu\text{V}$ pe afișaj; dimensionați CAN!

A: $N_{\max} = 20\text{V}/100\mu\text{V} = 200000$;

$N_{\text{dig}} = \lg(N_{\max}) = 5.3$ digiți; folosim 5 ½ digiți ($N_{\max}=199999$)

$N_{\max} = 2^n \Rightarrow n = \log_2 N_{\max} = 17.6$ biți

folosim $n=18$ biți $\Rightarrow N_{\max} = 262144$

7

Legătura N cifre ale DMM – n biți ai CAN

În cazul cu zgomot:

$$U_{\text{zg rms}} = q/\sqrt{12} = \Delta V / \sqrt{12}$$

Dacă $U_{\text{zg rms}} > \Delta V$, ΔV este inutilizabil.

Se alege $\Delta V_{\text{ech}} = U_{\text{zg rms}} \sqrt{12}$

$$\text{ENOD} = \lg(V_{\text{REF}} / \Delta V_{\text{ech}}) \quad (N_{\text{dig}} \text{ efectiv})$$

Ex: Q: DMM cu $V_{\text{REF}} = 20\text{V}$, $U_{\text{zg rms}} = 70\mu\text{V}$; dimensionați CAN !

A: $\Delta V_{\text{ech}} = 70 \sqrt{12} = 242.5\mu\text{V}$

$$N_{\max} = 20\text{V}/242.5\mu\text{V} = 82474$$

$\text{ENOD} = \lg(N_{\max}) = 4.92$ digiți; folosim 5 digiți

$n_{\text{echiv}} = \log_2 82474 = 16.33$ biți

8

nr. digiți: N

nr. de biți: n

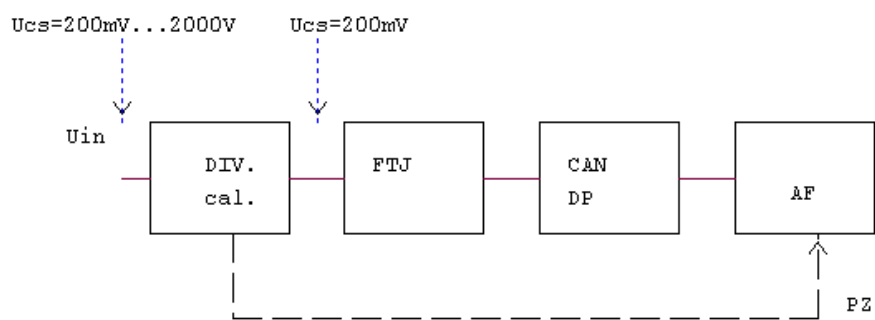
$N_{\max}$ din numărător: 2^n (counts)

Digits	3 ½		4 ½		5 ½		6 ½	
ENOD	3.01	3.61	4.21	4.81	5.42	6.02	6.62	7.22
Counts	1,024	4,096	16,384	65,536	262,144	1,048,576	4,194,304	16,777,216
Bits	10	12	14	16	18	20	22	24

Sursa: National Instruments

9

Realizarea voltmetrelor de c.c.



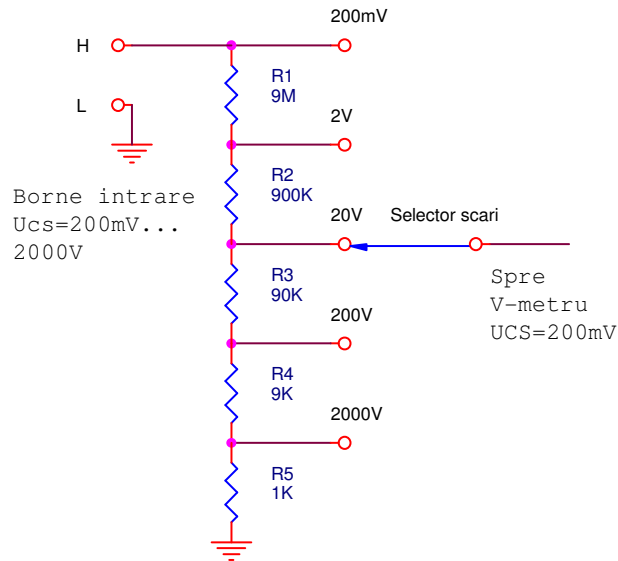
CAN DP: $U_{CS\ CAN} = 200\text{mV}$ (ex: 7106/7)

$U_{CS\ V\text{-metru}} = 10^K U_{CS\ CAN}$, $K=0..4$ (vezi schema următoare)

Q: cum acționează selectorul PZ pe fiecare scară ?

10

Realizarea voltmetrelor de c.c.: divizorul de intrare

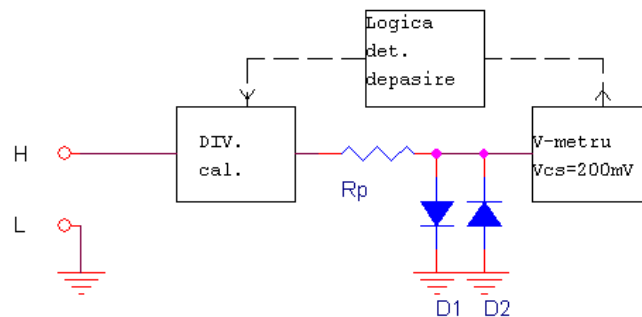


$$R_{IN} = ct = 10M\Omega$$

Q: cum se aleg
R1... R5 ?

11

Realizarea voltmetrelor de c.c.: autorange



Comutatorul. div. cal înlocuite cu com. electronice sau relee

Scări: $U_{CS} = 200mV - 2V - 20V$ etc

crescător: $U_{IN} = 0..200mV \Rightarrow U_{CS} = 200mV$

$U_{IN} = 200mV.. 2V \Rightarrow U_{CS} = 2V$

descrescător: $U_{IN} = 2V.. 180mV \Rightarrow U_{CS} = 2V$

etc

(histerezis, range overlapping)

12

Memento (CIA?): rapoarte de rejecție

Mod serie = mod normal = în serie cu sursa de semnal

(sursele de tensiune se pun în serie)

Ex: sursă de c.a. perturbatoare în serie cu sursa de c.c. utilă

$$\text{NMRR} = \text{RRS} = E_{\text{serie perturb}} / U_{\text{nm echiv}}$$

Mod comun = modifică potențialul de referință (ground)

= afectează ambele borne (Hi/Lo) ale sursei de semnal utile cu aceeași valoare

$$\text{CMRR} = \text{RRMC} = E_{\text{cm}} / U_{\text{nm echiv}}$$

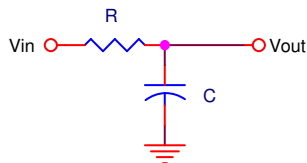
Q: de ce apare $U_{\text{nm echiv}}$ în ambele cazuri la numitor?

13

Realizarea voltmetrelor de c.c.:

FTJ pentru creșterea RRS

Q: calculați RRS al unui voltmetru cu filtrare și integrare la $f=50.1\text{Hz}$



$$\begin{aligned} \text{RRS}_F &= U_{PS} / U_{cc \text{ echiv}} = \\ &= U_{PS} / (U_{PS} \cdot |H(j\omega)|) = 1 / |H(j\omega)| \end{aligned}$$

$$\text{Ex: } RC=100\text{ms}, \text{RRS}_F=30\text{dB}$$

Memento CAN DP: $\text{RRS}_I = -20 \lg \sin \omega T_1$ $\text{RRS}_I = \infty$ pt. $T_1 = k / f_{\text{retea}}$

pt $f = 50.1\text{Hz}$, $\text{RRS}_I = 35\text{dB}$ (scădere dramatică față de ∞)

$$\text{RRS} = \text{RRS}_I + \text{RRS}_F = 30+35=65\text{dB}.$$

Dezavantaj: scăderea nr conv/secundă.

OBSERVAȚIE: RRS duce și la creșterea RRMC_{cc} (nu și c.a.)

$$\text{RRMC}_{\text{total cc}} = \text{RRMC}_{cc} + \text{RRS}$$

14

Exemplu: extras din *datasheet* Agilent 34401A

Digits	NPLCs	Integration Time 60 Hz (50 Hz)	NMR
4½ Fast	0.02	400.7 μ s (400 μ s)	-
4½ Slow	1	16.7 ms (20 ms)	60 dB
5½ Fast	0.2	3 ms (3 ms)	-
5½ Slow	10	167 ms (200 ms)	60 dB
6½ Fast	10	167 ms (200 ms)	60 dB
6½ Slow	100	1.67 sec (2 sec)	70 dB



RRS (NMRR sau NMR) pentru Agilent 34401A

NPLCs = *Number of Power Line Cycles* = numărul de perioade de 50/60Hz.

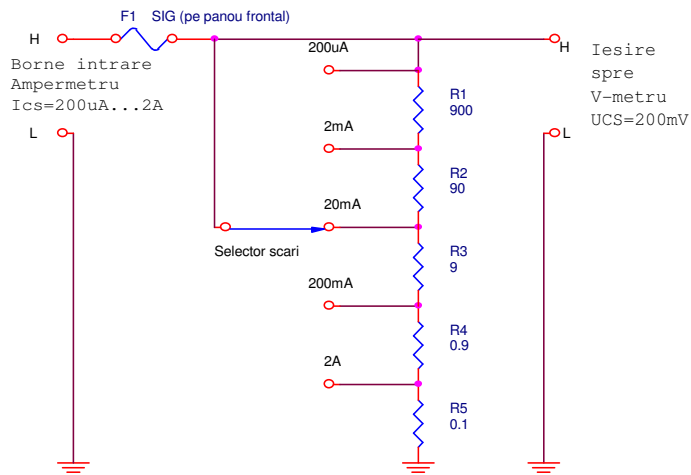
OBS: frecvența rețelei este determinată automat.

Q: de ce NPLC > 1 deși în capitolul CAN DP se arată că k=1 e la fel cu k=N ?

Sursa: Agilent Technologies

15

Modul ampermetru: convertor I-U (s.n. șunt universal)



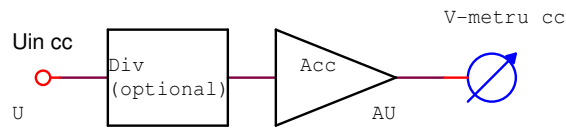
Șunt universal: se scurtcircuitază progresiv tot mai multe rezistențe pe măsură ce se selectează scări mai puțin sensibile.

OBS1: toate valorile R în Ω

OBS2: $R_{IN \text{ Voltmetru}} = ct$; $R_{IN \text{ Ampermetru}} \neq ct$.

16

V-metre de c.c. pentru semnale mici



Amplif. de c.c. greu de realizat pentru semnale foarte mici (mV) din cauza zg. propriu, offsetului propriu și a derivei termice.

Aplicație: pt. un V-metru de c.c. folosind CAN cu $U_{REF}=10V$, $n=20$ biți, calculați offsetul maxim acceptabil pt un AO în circuitul de intrare. Alegeți un AO corespunzător pt funcționare în gama $-10..+50\text{ }^{\circ}C$. Putem folosi LM358 (lab IEM) ?

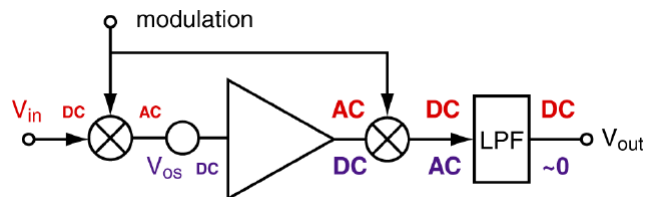
A: $V_{OS} < 9.53\mu V$; ex: LTC1052 sau OPA2734: $V_{OS}=5\mu V, 0.05\mu V/^{\circ}C$

LM358: $V_{OS}=2mV, 15\mu V/^{\circ}C$

- AO clasic: offset=zeci/sute/mii de μV , drift offset= $\mu V/^{\circ}C$
- AO cu *chopper*: offset= μV , drift offset ≈ 0

17

Amplificator de c.c. cu chopper



Calea de sus: tensiunea utilă: V_{IN}

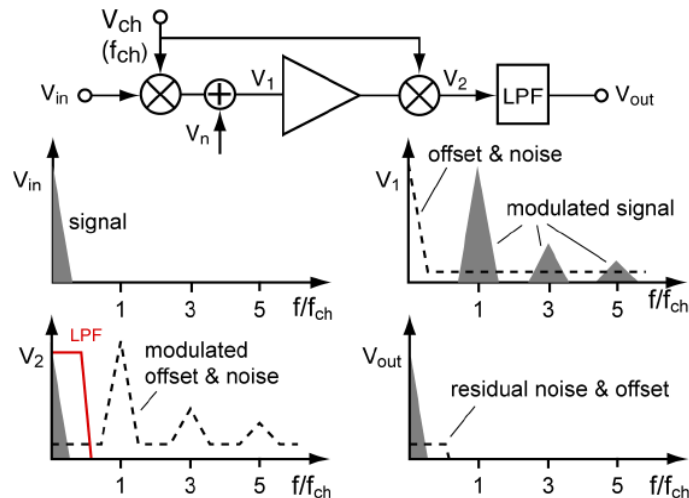
Calea de jos: offsetul (trebuie rejectat): V_{OS}

- funcționează pentru c.c. și frecvențe foarte mici în c.a.
- conversie DC $\rightarrow$ modulare $\rightarrow$ AC $\rightarrow$ amplificare AC $\rightarrow$ demodulare $\rightarrow$ DC prin filtrare trece-jos

Q: scrieți expresia tensiunii în fiecare punct pe calea de sus și cea de jos; de ce dispare offsetul ?

18

Amplificator de c.c. cu chopper - spectrele de frecvență (V_{ch} dreptunghiular)

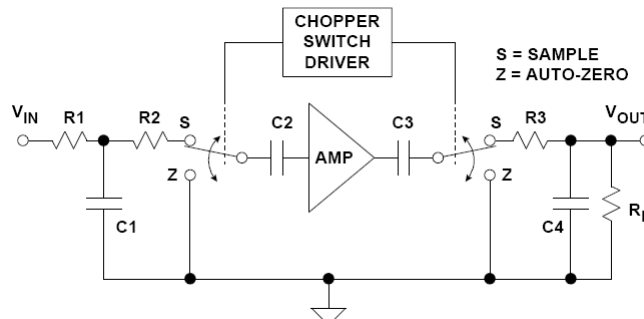


Sursa: Kofi Makinwa, Delft University of Technology, the Netherlands

$f_{ch} \leftrightarrow f_s$; V_1, V_2 reprezintă spectrele repetate în jurul f_s (vezi capitolul CAN)

19

Amplificator de c.c. cu chopper (cont'd)



Semnalul de modulare/demodulare este dreptunghiular și comută comutatorul S/Z (echiv. unei **frecv. de eșantionare**) = KHz

- Când **com.=Z**, $C2$ și $C3$ se încarcă la valoarea offsetului
- când **com.=S**, ele apar conectate în sens contrar
- $R1, C1 = \text{FTJ antialiere}$; $R3, C4 = \text{FTJ de ieșire}$
- numit și *auto-zero amplifier*

Sursa: Analog Devices

20

Amplificator de c.c. cu chopper (cont'd)

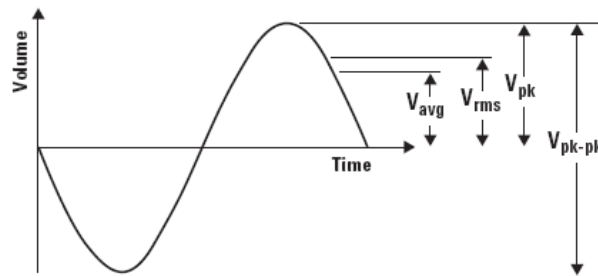
- **frecv. de eşantionare** = KHz $\rightarrow f_{\text{Nyquist}}$ = sute de Hz...KHz
- aplicație V-metru c.c. $\rightarrow$ OK ($f=0$), se poate folosi ampl. cu chopper (*chopper amplifier*)
- pt c.a., $f=\text{KHz, MHz...}$ $\rightarrow$ *chopper stabilized amplifier*; folosește un amp. cu chopper pt a elimina offsetul unui AO de frecvență mai mare (în același cip).

21

Voltmetre de c.a.

22

Semnale alternative: Memento METc



- Pentru $u(t) = U \sin \omega t$:

$$V_{med} = 0 \text{ (nu se folosește)}$$

$$V_{ma} = V_{avg} = 2U/\pi \text{ (RDA)}$$

$$V_{ef} = V_{rms} = U/\sqrt{2} = 0.707U$$

$$V_V = V_{PK} = U$$

$$V_{VV} = V_{PP} = V_{PK-PK} = 2U$$

$$FF = U_{ef}/U_{ma}$$

$$FC = FV = U_V/U_{ef}$$

23

Voltmetre de c.a.

$$V_{ef} = V_{ma} \cdot FF$$

$$FF_{sin} = V_{ef}(U \sin \omega t)/V_{ma}(U \sin \omega t) = (0.707U)/(2U/\pi) = 1.11 \text{ pentru RDA}$$

$$\Rightarrow V_{ef} = V_{ma} \cdot 1.11 \quad (1)$$

Toate voltmetrele de c.a. sînt gradate în v.ef. (RMS) pentru semnal sinusoidal;

2 Categori:

- Voltmetre care măsoară valori m.a. și gradate în v.ef. pe baza relației (1); produc erori sistematice pentru semnale ne-sinusoidale, căci $FF = FF_{sin}$ rămîne calibrat în aparat indiferent de forma semnalului.
- Voltmetre **True RMS**; indicația este adevărată pentru orice semnal. Calculează valoarea efectivă printr-o metodă independentă de forma semnalului.

24

Voltmetre de c.a. cu RDA

- $V_{ef} = V_{ma} \cdot 1.11$
- Erori atunci când $u(t)$ nu e sinusoidal:

Table 5. Error Introduced by an Average Responding Circuit When Measuring Common Waveforms

Type of Waveform 1 V Peak Amplitude	Crest Factor (V_{PEAK}/V_{rms})	True RMS Value (V)	Reading of an Average Responding Circuit Calibrated to an RMS Sine Wave Value (V)	Error (%)
Undistorted Sine Wave	1.414	0.707	0.707	0
Symmetrical Square Wave	1.00	1.00	1.11	11.0
Undistorted Triangle Wave	1.73	0.577	0.555	-3.8
Gaussian Noise (98% of Peaks <1 V)	3	0.333	0.295	-11.4
Rectangular	2	0.5	0.278	-44
Pulse Train	10	0.1	0.011	-89
SCR Waveforms				
50% Duty Cycle	2	0.495	0.354	-28
25% Duty Cycle	4.7	0.212	0.150	-30

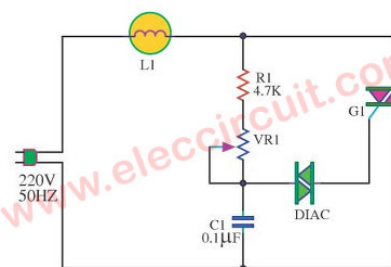
Sursa: Analog Devices

- Q1: calculați Crest Factor (FC) și eroarea pentru „Pulse Train” și „SCR Waveforms”
- Q2: explicați în ce măsură eroarea la măsurarea RMS a trenurilor de impulsuri este o problemă
- Q3: explicați de ce SCR Waveform este foarte întâlnit în aplicații casnice și industriale.

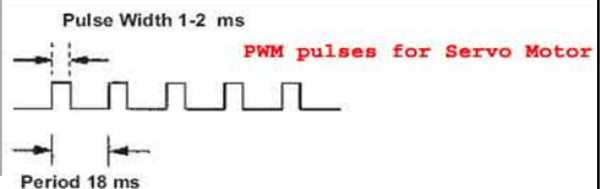
25

Aplicații Voltmetre de c.a. cu RDA

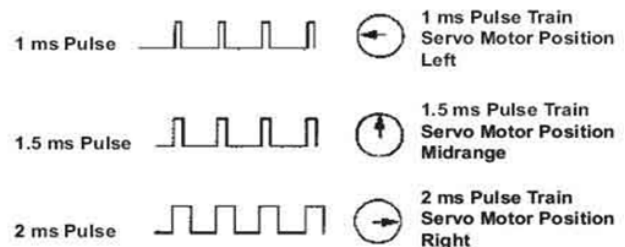
- SCR Waveform întâlnit în aplicații casnice și industriale: Variator AC / AC Dimmer (cu triac)



Copyright © 2017 www.eleccircuit.com



- PWM servomotor



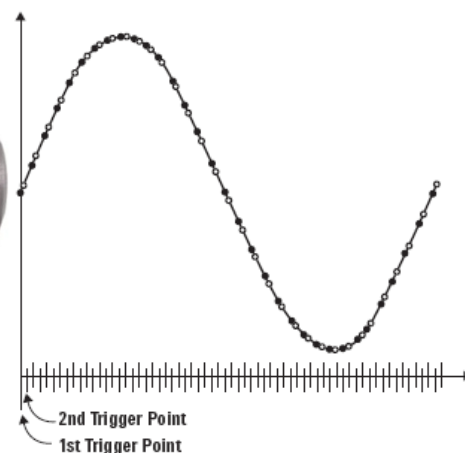
26

Voltmetre de c.a. *True RMS* - Tehnologii

1. Prin efect termic – lente, sensibile la FC; nu se mai fabrică recent – vezi METc
2. Folosind înmulțitor analogic (circuit integrat dedicat)
3. Cu eșantionare și calcul numeric, similar cu un DSO dar cu f_s mai mică. f_s nu este multiplă de f_{semnal} pentru a lua eșantioane de pe poziții diferite la fiecare perioadă.



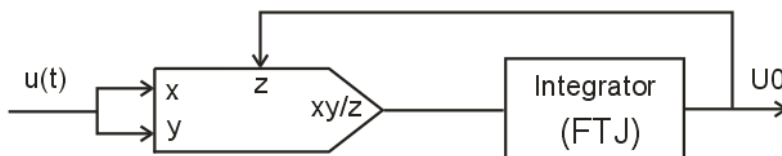
Sursa: Agilent Technologies /Keysight



27

2. Voltmetre *True RMS* cu înmulțitor

- Principiu: calculul analogic al relației de definiție $U_{\text{RMS}}^2 = \text{Avg}[u_{\text{IN}}^2(t)]$



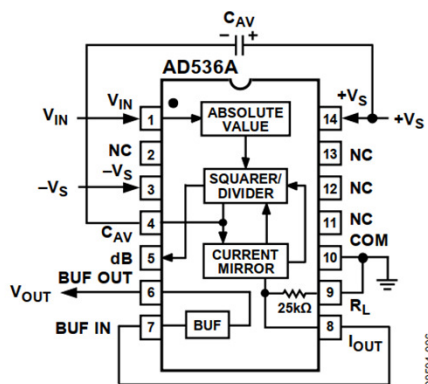
- Circuit integrat numit *squarer/divider*
- Integrare=FTJ=mediere=Avg
- $U_0 = \text{Avg}(xy/z) = \text{Avg}[u_{\text{IN}}^2(t) / U_0]$
- $U_0 = \text{ct deci iese în fața mediei}$
- $\rightarrow U_0^2 = \text{Avg}[u_{\text{IN}}^2(t)]$ deci $U_0 = U_{\text{RMS}}$

28

2. Voltmetre *True RMS* cu înmulțitor

- $U_{RMS}^2 = \text{Avg}[u_{IN}^2(t)]$

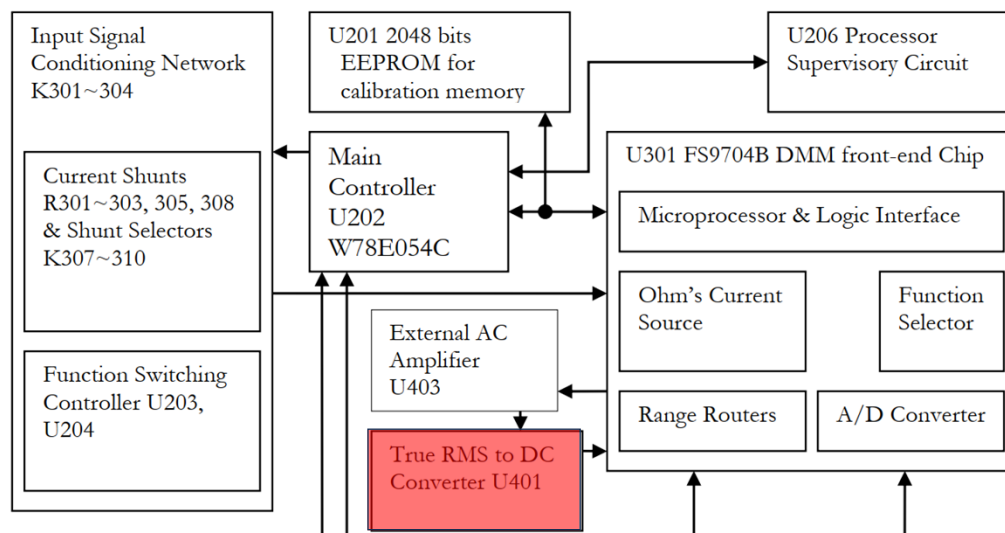
- Exemplu: circuit integrat Analog Devices AD536 utilizat în multimetrul de laborator GW-Instek GDM8245



- C_{AV} = averaging capacitor (componentă externă) Sursa: Analog Devices

29

Extras schemă bloc GDM-8245: U401=AD536



30

Exemplu - AD536

- $U_{RMS} = \text{Avg} [u_{IN}^2(t) / U_{RMS}]$ [1]
- $I_1 = |u_{IN}|/R$ deci proporțional cu modulul $| \cdot |$ Semnificație: redresare de precizie, ne-afectată de V_T a diodei.
- Tranzistorul de la ieșirea A1 este folosit ca diodă redresoare
- Blocul *Square/Divider* face operația:

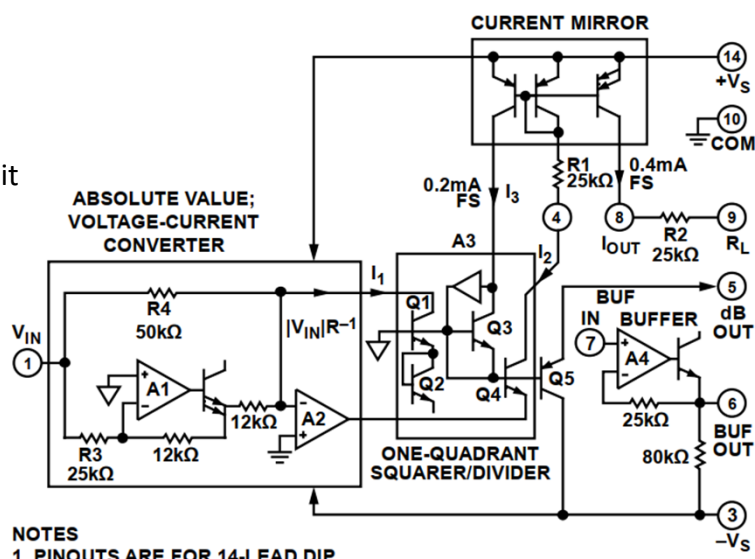
$$I_4 = I_2 = I_1^2 / I_3$$

- Medierea (AVG): FTJ R_1 , C_{AV} (pin 4).
Oglinda de curent face $I_3 = \text{Avg}(I_4)$

→ $I_3 = \text{Avg}(I_4) = \text{Avg}(I_1^2/I_3)$ similar [1]

$$\rightarrow I_3 = I_1 \text{ RMS}$$

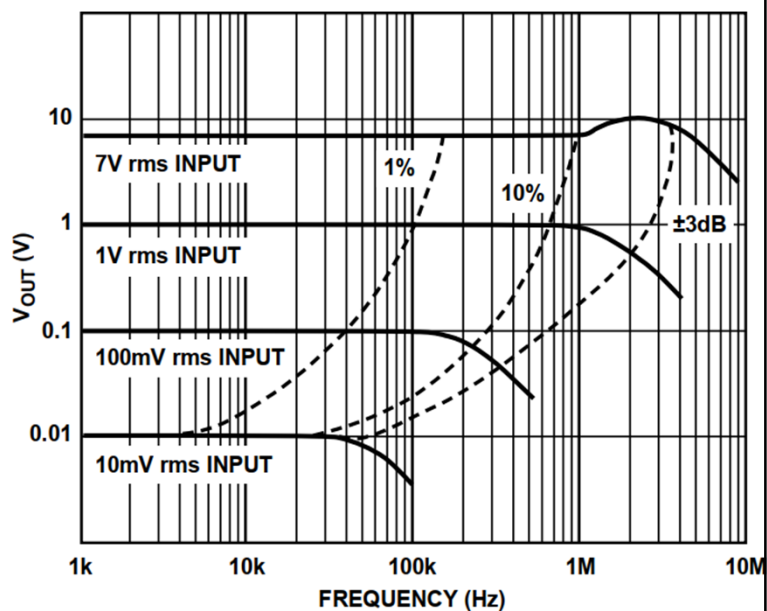
$$I_{out}=2I_3 \rightarrow V_{out}=2R_2I_{RMS}=V_{RMS}$$



31

AD536 – errori: interpretare datasheet

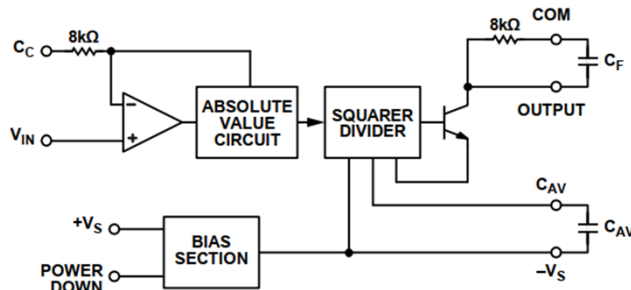
- Linie groasă: caracteristica de frecvență pentru diferite tensiuni
- Linie subțire: limite ale tensiunii și frecvenței pt. eroare de 1%, 3% sau 3dB (ieșirea dB)
- Exemple:
- $1V_{RMS}$ poate fi măsurat cu $\epsilon < 1\%$ pt. $f < 100KHz$
- $10mV_{RMS}$ poate fi măsurat cu $\epsilon < 1\%$ pt. $f < 5KHz$
- Eroarea minimă: $\pm 0.2\% \pm 2mV$



32

Alt exemplu: AD737

- Utilizat inclusiv în seria de multimetre portabile Fluke 7x, 17x

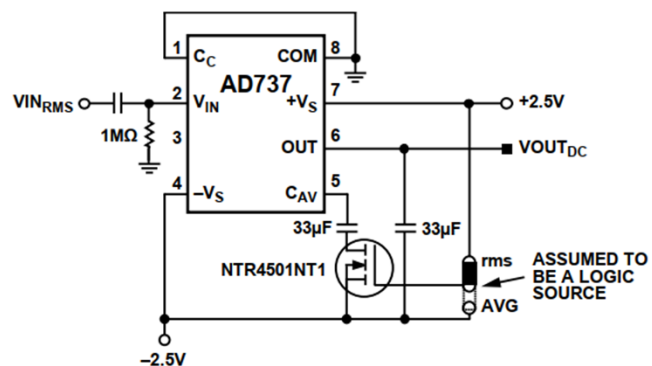


- Q: Ce se întâmplă în lipsa condensatorului de mediere C_{AV} ?
determinați noua relație de conversie.

33

AD737 RMS/MA

- A: U_{RMS} devine U_{MA} cu RDA eliminând medierea
- Demo: relația $U_{RMS}^2 = \text{Avg}[u_{IN}^2(t)]$ devine:
 $U_0^2 = u_{IN}^2(t) \rightarrow U_0 = |u_{IN}(t)|$
- În continuare se folosește redresorul de precizie din circuit
- Deci, voltmetru de c.a. de valori medii (există în continuare un efect de mediere realizată de C_F și $R=8K\Omega$)
- Avantaj: timp de răspuns mai mic în var. cu mediere decât RMS, dacă $C_F < C_{AV}$



sursa: Analog Devices AD737 datasheet

MOSFET pentru selecția RMS/MA

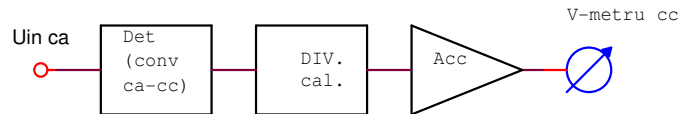
- Studiu de caz: adăugarea condensatorului, măsurări comparative MA și RMS, recalibrare:

<https://www.eevblog.com/2022/01/21/eevblog-1448-convert-a-fluke-77-iv-to-true-rms-for-10-cents/>

34

V-metre de c.a. pt. semnale mici

- Semnalele mici necesită amplificare
- Pînă acum, amplificarea a fost în c.a., urmată de conversia RMS $\rightarrow$ DC
- Avantaj: impedanță mare de intrare (tipică pt. amplif. cu AO)
- Dezavantaj: bandă redusă de frecvențe KHz... MHz
- Variantă: conversie inițială AC $\rightarrow$ DC chiar la borna de intrare (tipic, detector de vîrf, vezi METc) urmată de amplificare în c.c.



Avantaje:

- Bandă foarte largă (GHz)
- C_{IN} foarte mică

Dezavantaje:

- R_{IN} mică
- sensib. slabă: zeci de mV; neliniar la semnale mici

35

Moduri de conectare a U_x la bornele V-metrului



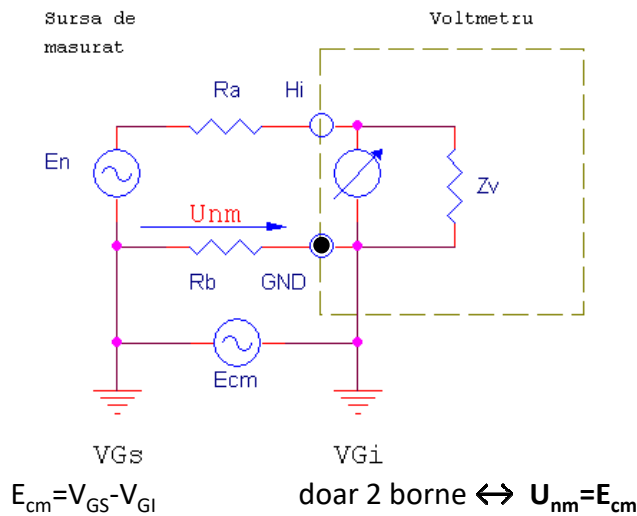
Q: Cîte borne are multimetrului din laborator pe modul voltmetru ?

A: 3, deși nu sînt vizibile decît 2 !

Q: Cum știm? A1: tipul de mufă non-BNC; A2: indicația de pe panou arată diferență potențial max. 500V între Lo și GND $\rightarrow$ Lo $\neq$ GND

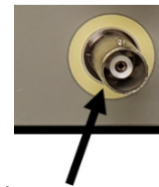
36

Conectarea cu 2 borne (Lo=GND)



$V_{GS} \neq V_{GI}$
 potențialul nenul la instrument e cauza problemelor de mod comun!

Q: motive fizice pt. aceasta?

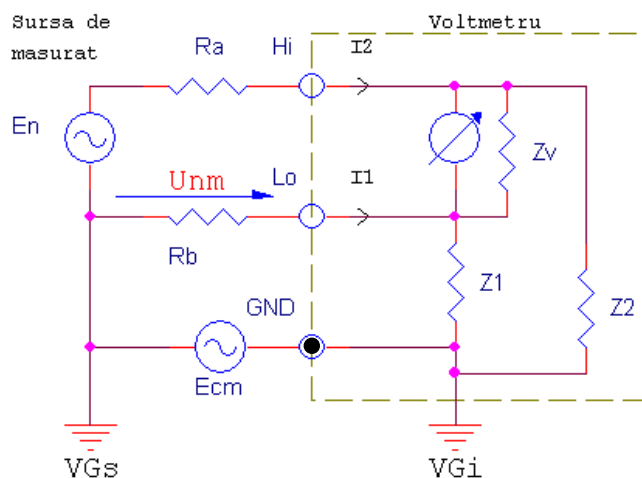


Această conectare este *implicită* dacă aveți mufă BNC !

Borna GND se conectează la carcasă și implicit la împământare.

37

Conectarea cu 3 borne (Hi, Lo, GND)



Carcasa aparatului
 conectată la GND
 bornele Hi, Lo
 flotante

I_1, I_2 efecte ale E_{cm} prin Z_1, Z_2

$Z_1 \ll Z_2$
 datorită ariei Lo
 $I_1 \gg I_2 \Rightarrow U_{nm}$ neglij. prin R_a

$$E_{cm} = V_{GS} - V_{GI} \quad U_{nm} = E_{cm} R_b / (Z_1 + R_b)$$

obs că acum $U_{nm} \ll E_{cm}$

$$RRMC = E_{cm} / U_{nm} = (Z_1 + R_b) / R_b \approx Z_1 / R_b$$

tipic: cc: $RRMC = 120dB$ ca (50Hz) : $RRMC = 62dB$

tipic:

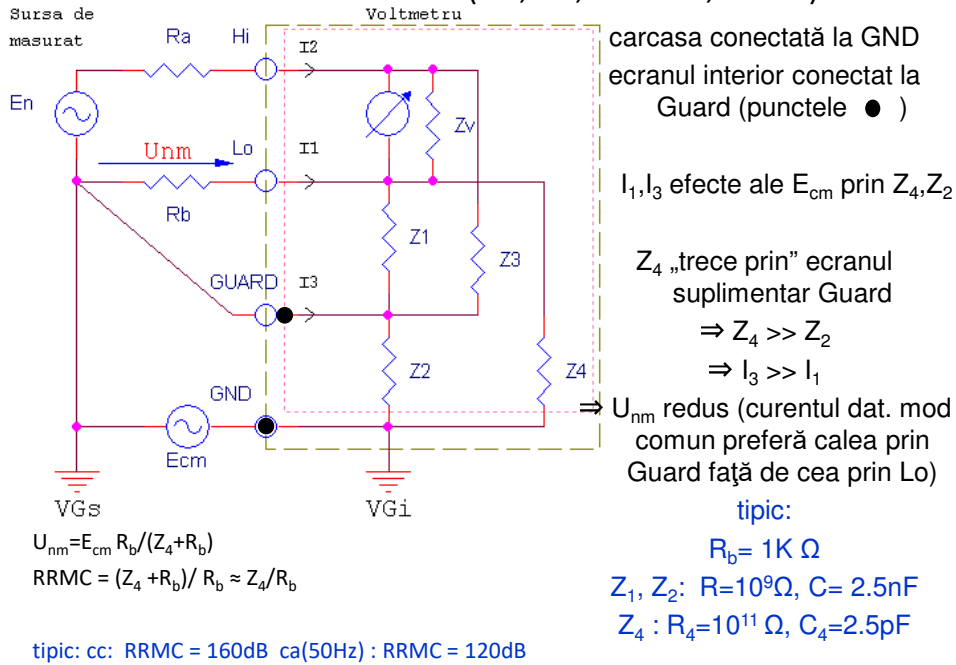
$$R_b = 1K \Omega$$

$$Z_1: R_1 = 10^9 \Omega,$$

$$C_1 = 2.5nF$$

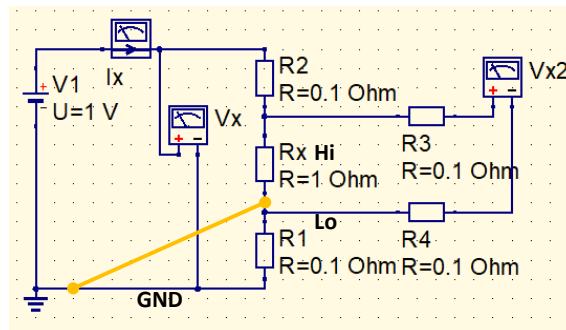
38

Conectarea cu 4 borne (Hi,Lo,Guard,GND)



39

Consecință a conectării cu N borne



Q: cîte borne **trebuie** să aibă V-metrul Vx2 pt. măs. U_x pe R_x

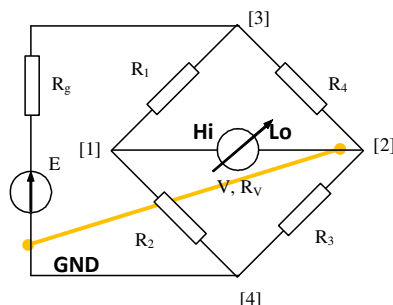
A: 3 (sau 4) borne, borna Lo să fie $\neq$ de borna GND (vezi V-m Vx2 dar fără R3,R3)

OBS: vedeți un exemplu de situație în care ap. reale nu-s ca în simulare!

În cazul conectării la un V-m cu 2 borne, Lo = GND și se scurtcircuitează R1
 (se face în mod nedorit conexiunea)

40

Consecință a conectării cu N borne (cont'd)



Q1: aceeași întrebare pt V-metrul punții Wheatstone; consecințe dacă se fol. 2 borne adică $Lo=GND$?

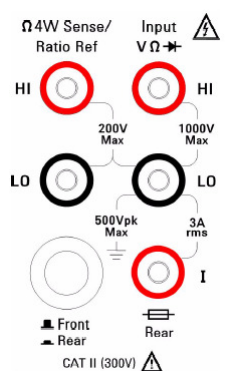
A1: scurt-circuitarea $R3$

Q2: putem folosi un osciloscop în loc de V-metru?

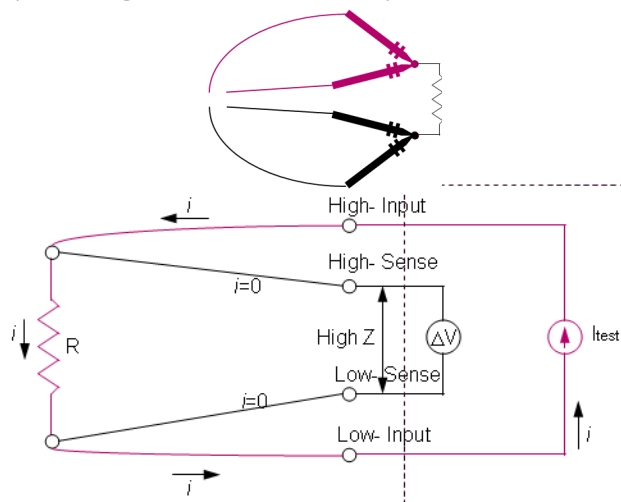
A2: hint: tipul de mufă?

41

Alte borne: măsurarea cuadripolară pentru modul ohmetru (ex: Agilent 34401A)



Sursa: Agilent Technologies



Conectarea cu 4 borne (4T) pt. măsurarea Z_x nu are nici o legătură cu conectarea cu 4 borne de tensiune (Hi,Lo,Guard,GND precedentă) !

Morala: nu confundați bornele ! Hint: notația **$\Omega 4W$** = modul Ω 4-Wires

42