

Измервания на физични величини

Цифрови мултимери

Съдържание

- **Функционални възможности**
- **Блокова схема**
- **Измерване на постоянно напрежение**
- **Измерване на постоянен ток**
- **Измерване на променливо напрежение и променлив ток**
- **Измерване на съпротивление**
- **Техническа спецификация**

Предназначение и функционални възможности

Основно служи за измерване на:

- Постоянно напрежение
- Постоянен ток
- Променливо напрежение
- Променлив ток
- Съпротивление

Някои мултимери измерват и:

- Честота
- Капацитет
- Индуктивност
- Температура

Предназначение и функционални възможности

Имат възможност за изследване на:

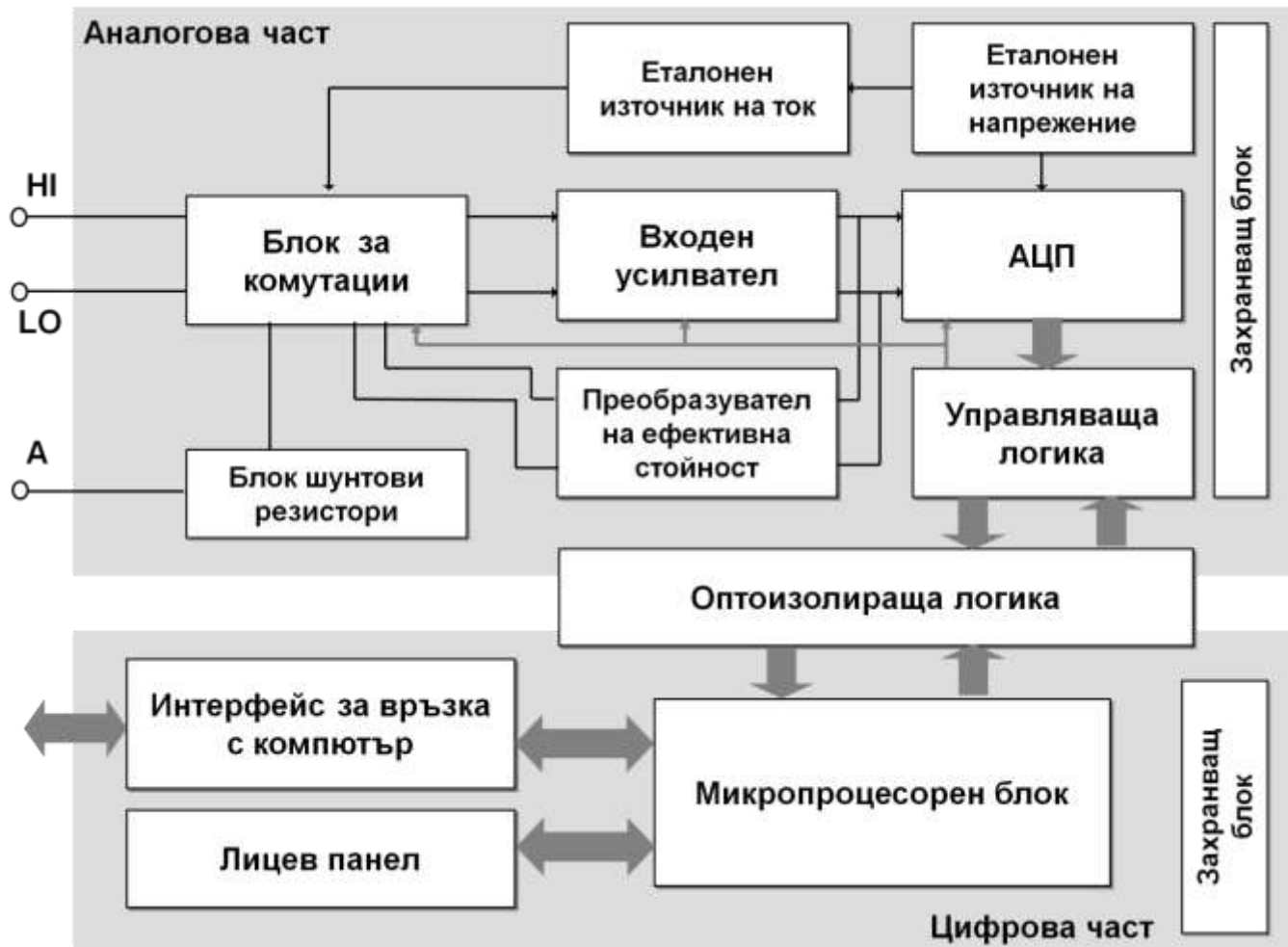
- Късо съединение (издава звуков сигнал)
- Напрежение в права посока на PN - преходи
- Коефициент на усилване по ток на транзистори

Предназначение и функционални възможности

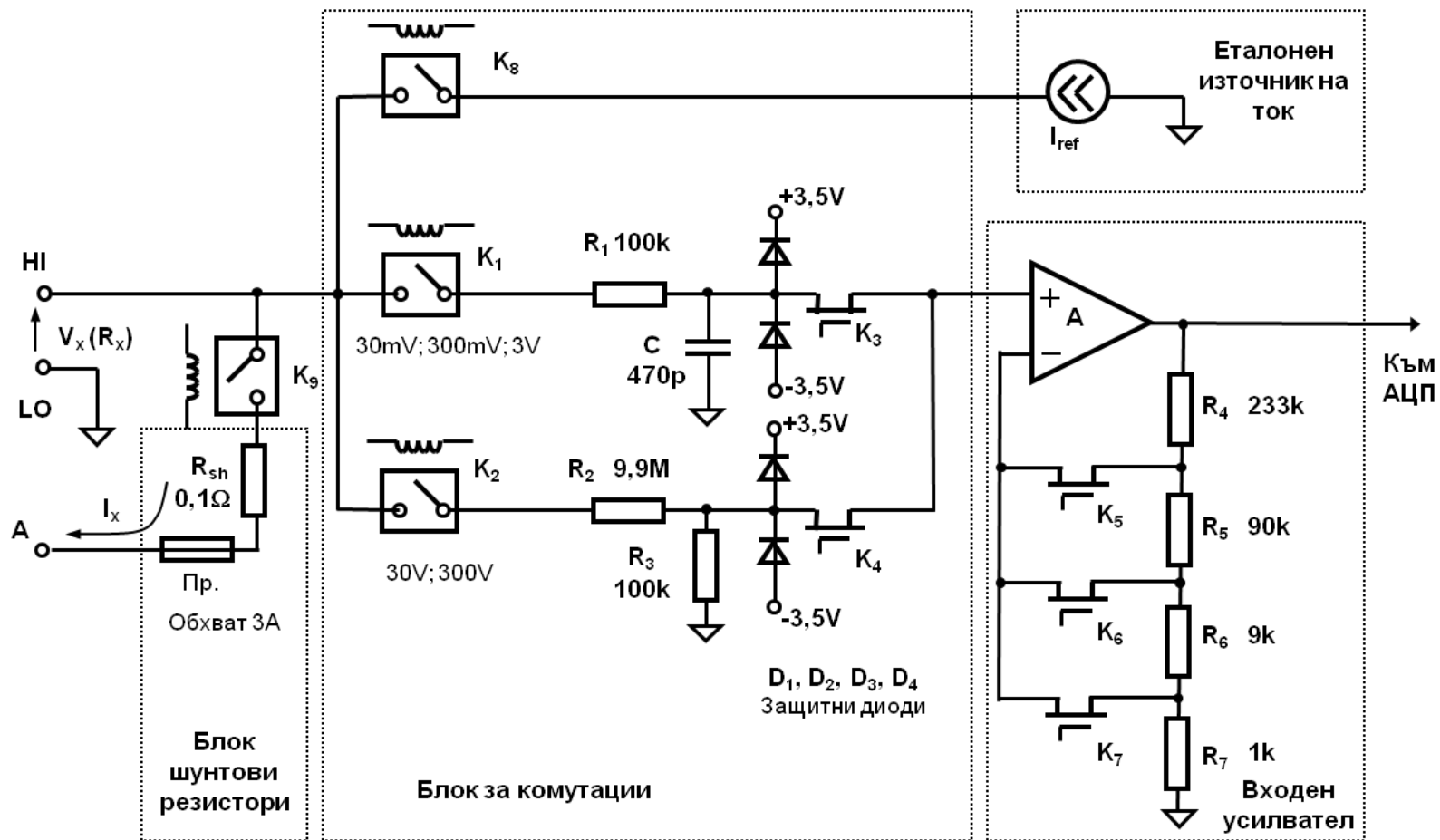
Според конструктивните си особености биват:

- Портативни
- Системни (стационарни)
- Модулни

Блокова схема на цифров системен мултиметър



Блокова схема на цифров системен мултиметр

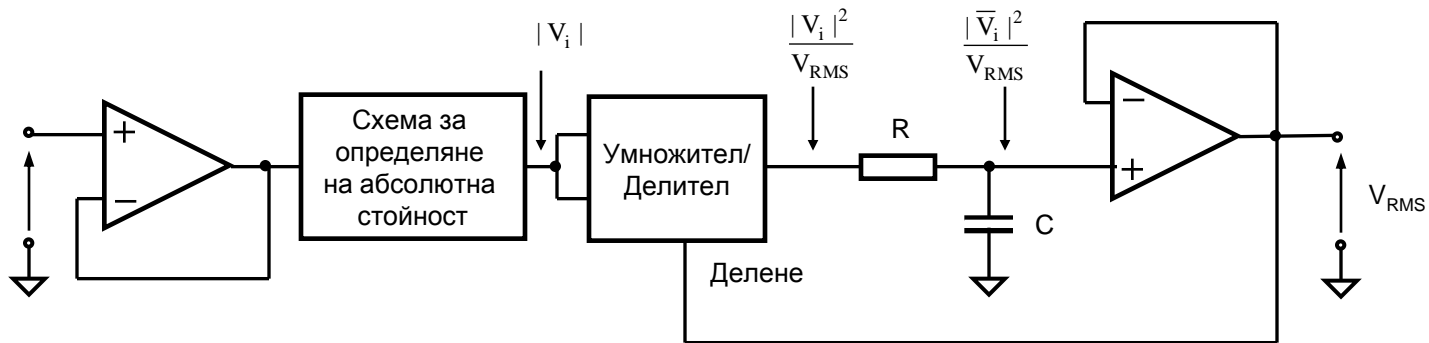


Блокова схема на цифров системен мултиметер

Преобразувател на ефективна стойност

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int [V(t)]^2 dt.} \quad V_{\text{RMS}}^2 = \frac{1}{T} \int [V(t)]^2 dt. \quad \overline{V(t)^2} = \text{Avg}[V(t)^2] = \frac{1}{T} \int [V(t)]^2 dt$$

$$V_{\text{RMS}}^2 = \overline{V(t)^2}. \quad V_{\text{RMS}} = \frac{\overline{V(t)^2}}{V_{\text{RMS}}}$$



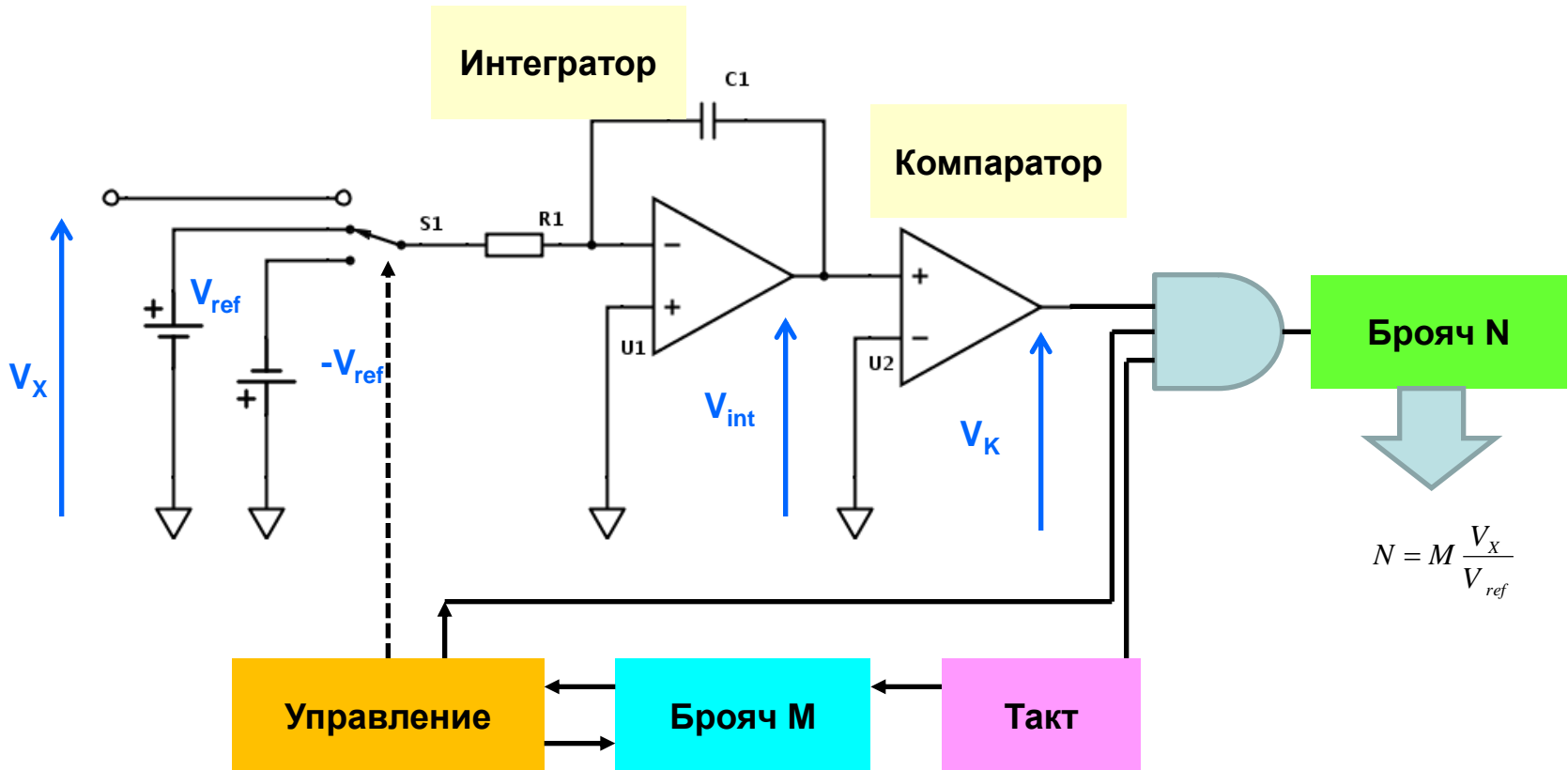
Блокова схема на цифров системен мултимер

Преобразуватели на ефективна стойност

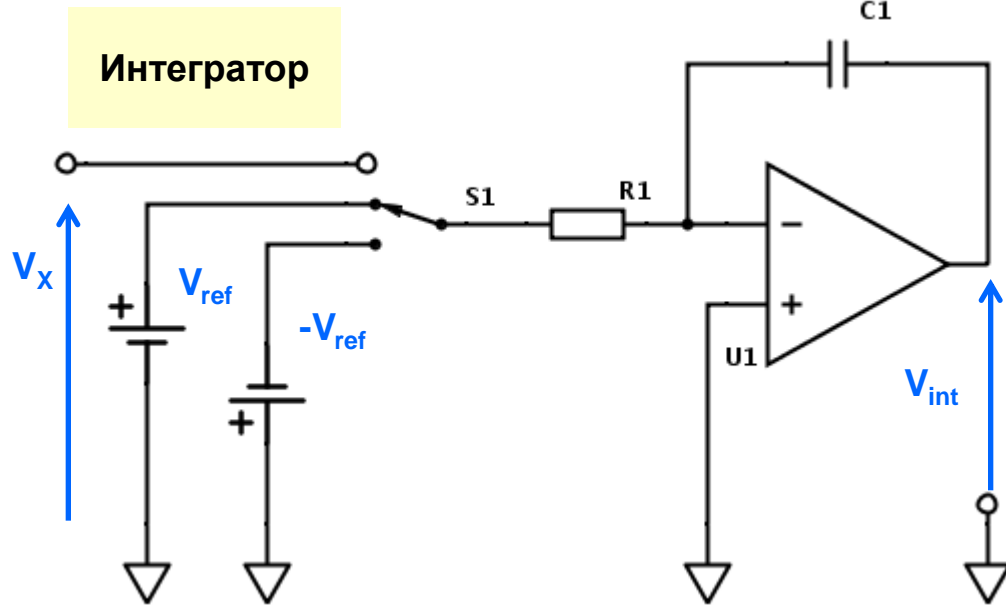
Модел / Производител	Точност на преобразуване ¹⁾	Честотна лента ²⁾	Коефициент на формата ³⁾	Относително бързодействие	Забележка
AD637 Analog Devices	$\pm(0,5\%+1\text{mV})$	1MHz	≤ 10	Бърз	Висококачествен. За прецизни приложения
AD736 Analog Devices	$\pm(0,5\%+0,5\text{mV})$	460kHz	≤ 3	Бавен	Евтин. С ниска консумация
AD737 Analog Devices	$\pm(0,5\%+0,4\text{mV})$	460kHz	≤ 3	Бавен	Евтин. С ниска консумация
LH0091 National Semiconductor	$\pm(0,5\%+20\text{mV})$	1,5 MHz	≤ 10	-	Евтин. С ниска консумация
MAX536 MAXIM	$\pm(0,2\%+2\text{mV})$	450kHz	≤ 7	Бърз	За прецизни приложения. С ниска консумация

Блокова схема на цифров системен мултиметр

Аналогово-цифров преобразувател



Блокова схема на цифров системен мултиметр



Първи такт

$$V_{\text{int}}(t) = -\frac{1}{R_1 C_1} \int_{t_0}^{t_1} V_X dt$$

$$V_{\text{int}}(t_1) = -\frac{1}{R_1 C_1} V_X (t_1 - t_0)$$

$$V_{\text{int}}(t_1) = -\frac{1}{R_1 C_1} V_X T_1$$

$$T_1 = T_0 M$$

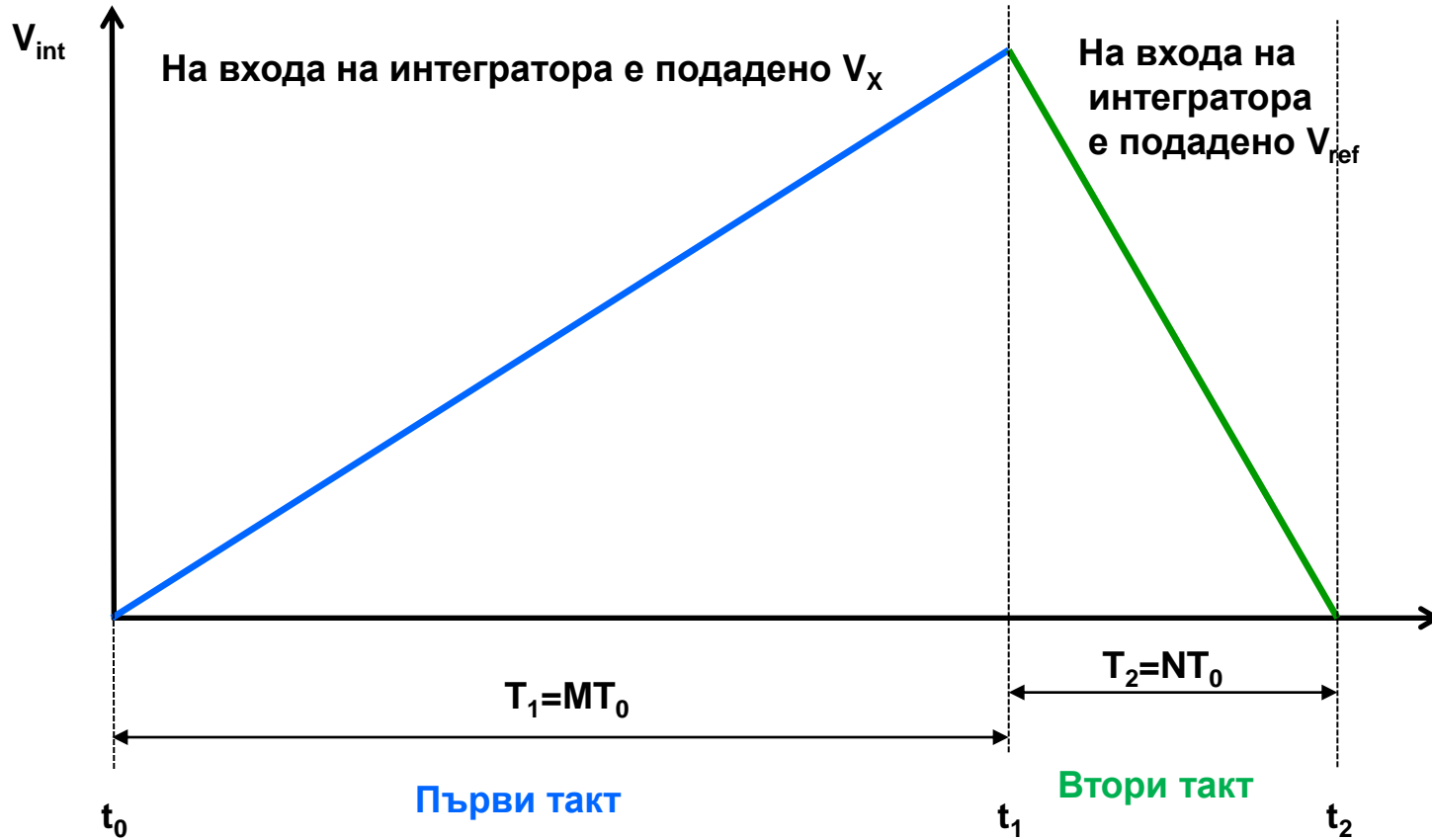
$$T_0 = \frac{1}{f_0}$$

Константният интервал на интегриране T_1 се задава чрез брояча и честотата на тактовия генератор f_0 и фиксиран брой импулси M

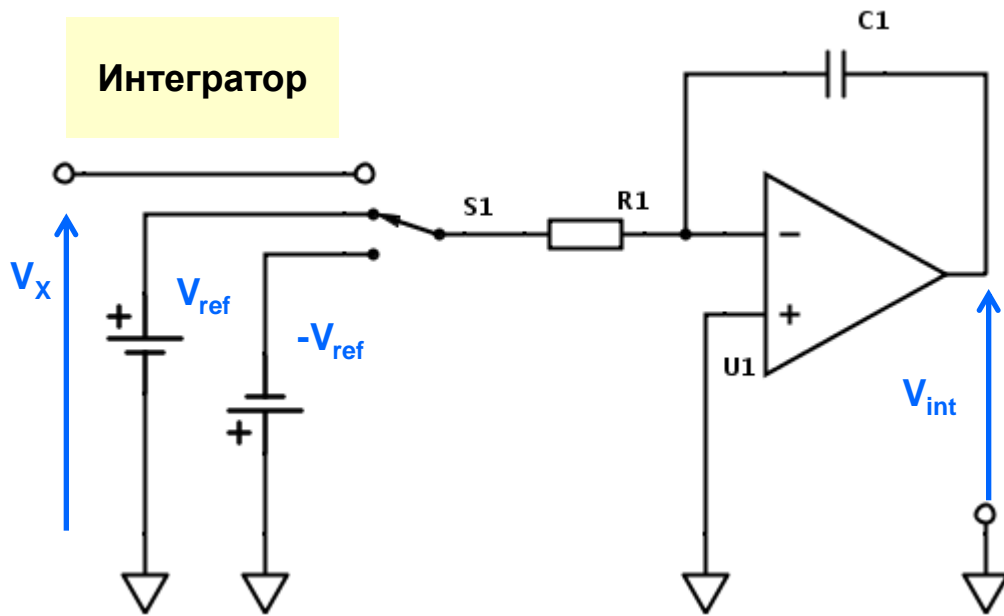
$$V_{\text{int}}(t_1) = -\frac{M V_X T_0}{R_1 C_1}$$

Блокова схема на цифров системен мултимер

Аналогово-цифров преобразувател



Блокова схема на цифров системен мултимер



Втори такт

$$V_{\text{int}}(t_2) = V_{\text{int}}(t_1) - \frac{1}{R_1 C_1} V_{\text{ref}} (t_2 - t_1) = 0$$

$$V_{\text{int}}(t_1) = \frac{1}{R_1 C_1} V_{\text{ref}} T_2 \quad T_2 = T_0 N$$

$$V_{\text{int}}(t_1) = -\frac{M V_X T_0}{R_1 C_1}$$

$$-\frac{M V_X T_0}{R_1 C_1} = \frac{1}{R_1 C_1} V_{\text{ref}} T_0 N$$

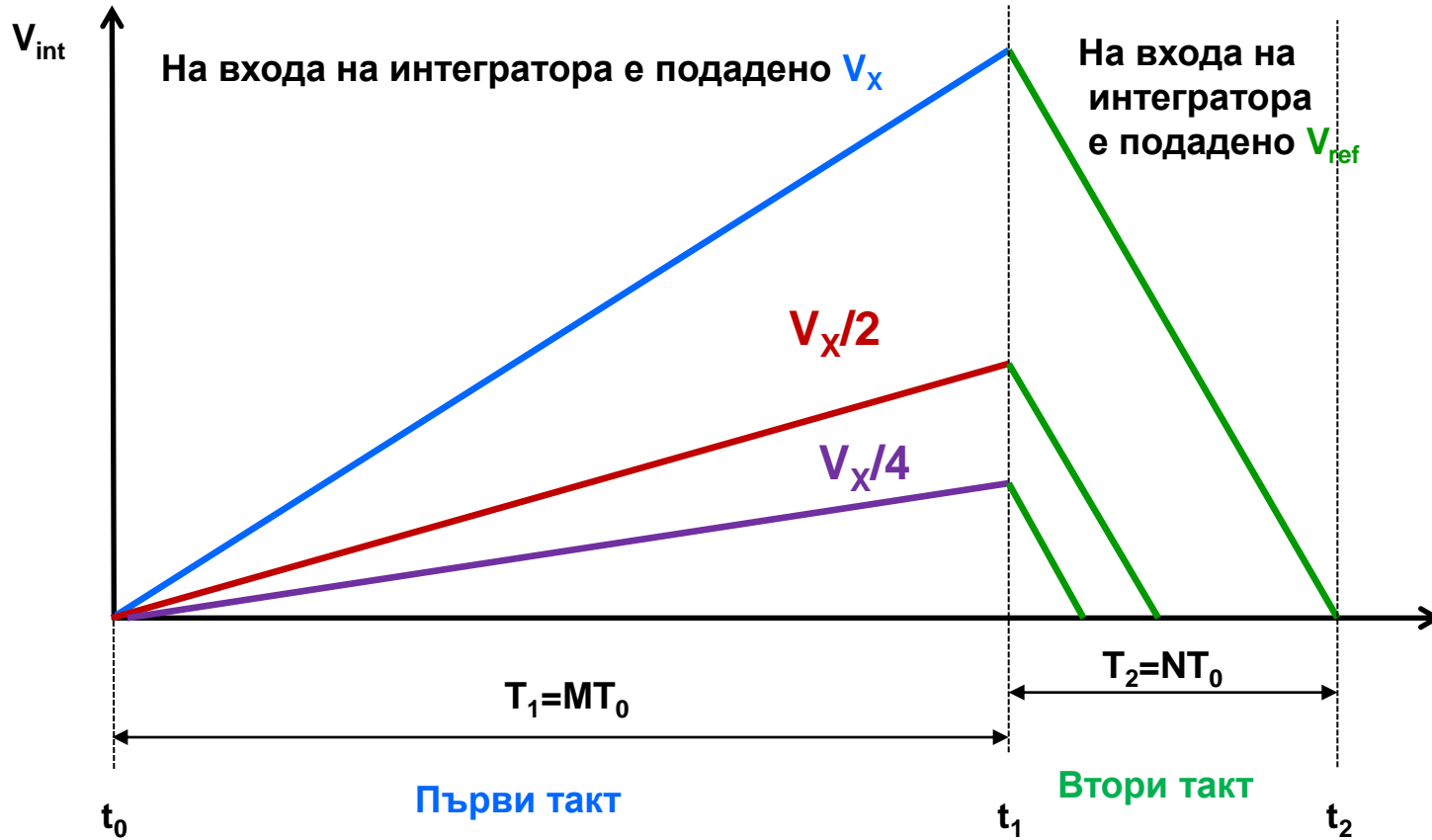
$$-M V_X = V_{\text{ref}} N$$

$$V_X = -V_{\text{ref}} \frac{N}{M}$$

На входа на интегратора се подава **опорно напрежение**, което е с полярност, противоположна на измерваното напрежение (в случая V_{ref} –положително). Изходното напрежение на интегратора се изменя до 0 V.

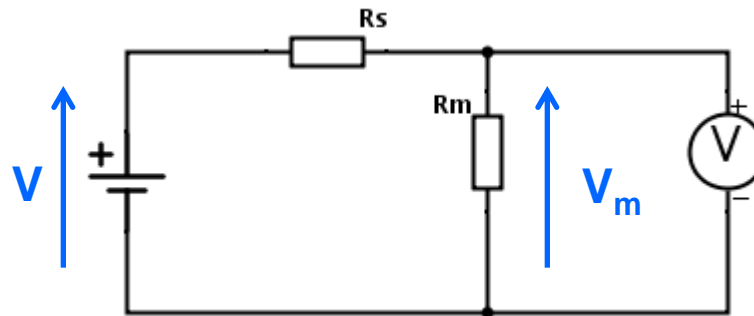
Блокова схема на цифров системен мултиметр

Аналогово-цифров преобразувател



Измерване на постоянно напрежение

Грешка от входното съпротивление на уреда



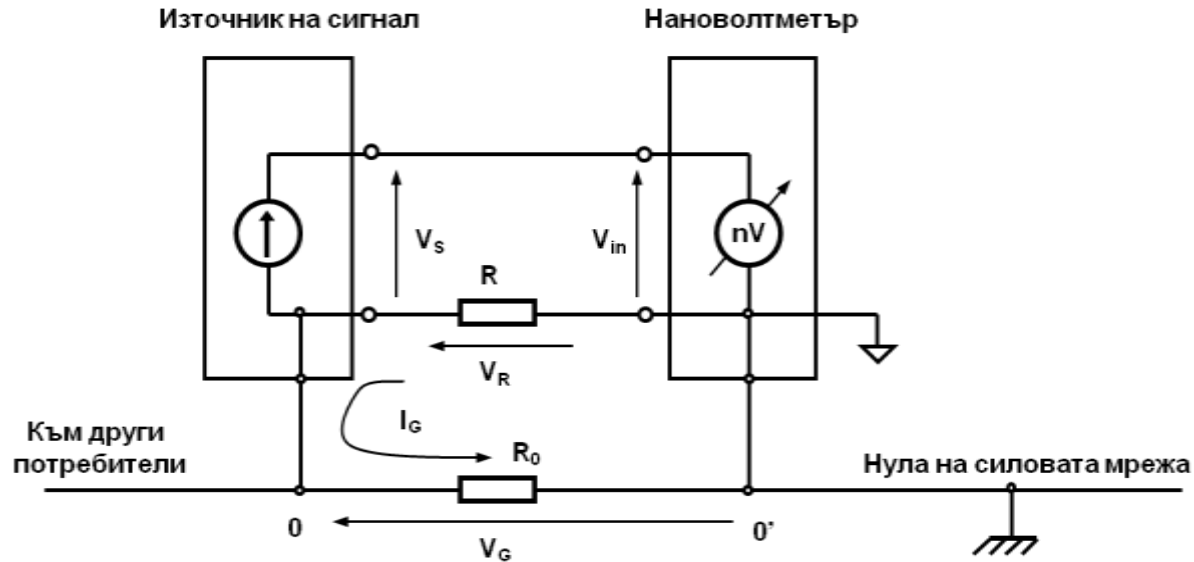
$$V_m = \frac{R_m}{R_s + R_m} V$$

$$\Delta V = V - V_m = V - \frac{R_m}{R_m + R_s} V = V \frac{R_s}{R_m + R_s}$$

$$\delta_V = \frac{R_s}{R_m + R_s} 100, \%$$

Измерване на постоянно напрежение

Паразитни смущения по зануляващата шина (Ground Loops)



$$V_{in} = V_s - V_R = V_s - I_G R = V_s - \frac{V_G}{R_0} R$$

$$\Delta V = V_s - V_{in} = -\frac{V_G}{R_0} R$$

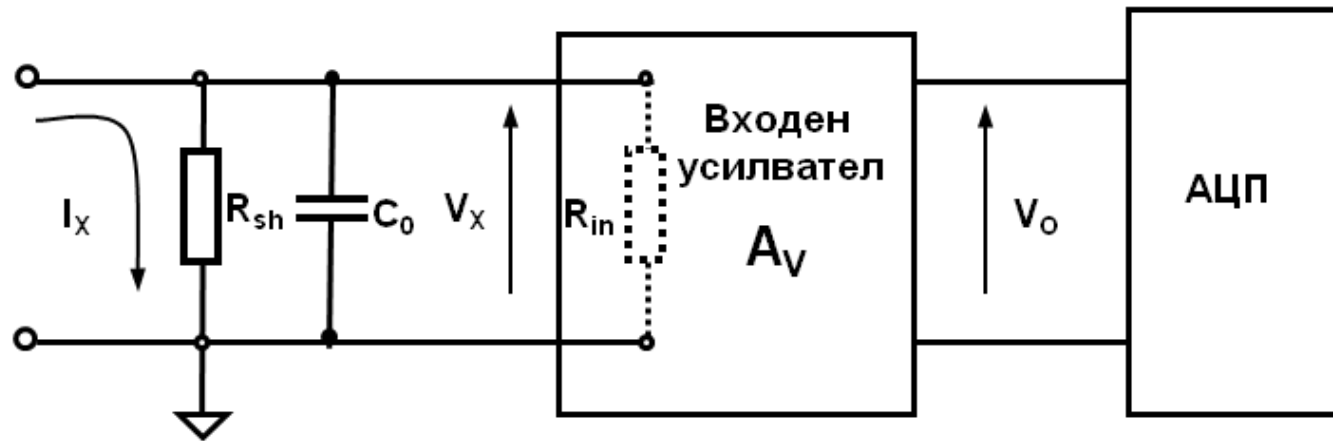
Измерване на постоянен ток

Методите за измерване на постоянен ток могат да се разделят на две основни групи:

- Методи с директно преобразуване на тока в напрежение.
- Безконтактни методи, използващи магнитното поле, създадено от измервания ток. Тук не се разкъсва токовата верига. Най-разпространеният от тези методи използва сензорен елемент, основаващ се на ефекта на Хол.

Измерване на постоянен ток

Цифровите мултиметри използват метод за директно преобразуване на ток в напрежение, при който измерваният ток протича през шунтов резистор с известна стойност R_{sh} .



$$V_o = A_V V_X = A_V I_X R_{sh}$$

Измерване на постоянен ток

Източници на грешки са:

- отклоненията в шунтовото съпротивление R_{sh} , и коефициента на усилване на усилвателя A_V ;
- грешката, с която се измерва напрежението V_O ;
- допълнителната грешка от шунтиращото влияние на входното съпротивление R_{in} на усилвателя
- .

$$\Delta V = I_X R_{sh} - I_X \frac{R_{sh} R_{in}}{R_{sh} + R_{in}} = I_X R_{sh} \left(1 - \frac{R_{in}}{R_{sh} + R_{in}} \right) = I_X R_{sh} \left(\frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_{in}} \right)$$

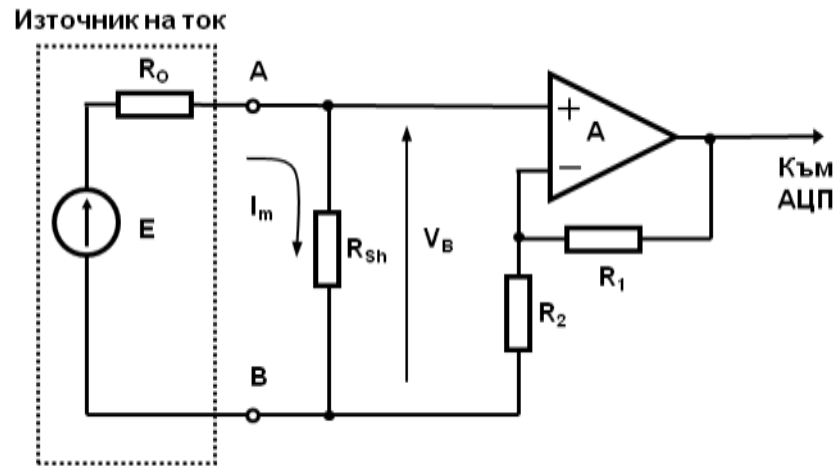
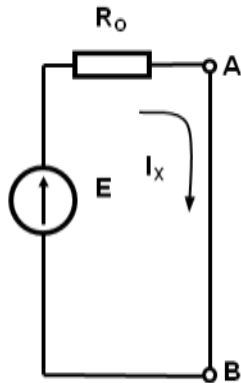
$$\delta_{R_{in}} = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_{in}}$$

Измерване на постоянен ток

Източници на грешки са:

- Влияние на напржителния пад върху шунтовия резистор (Voltage Burden)

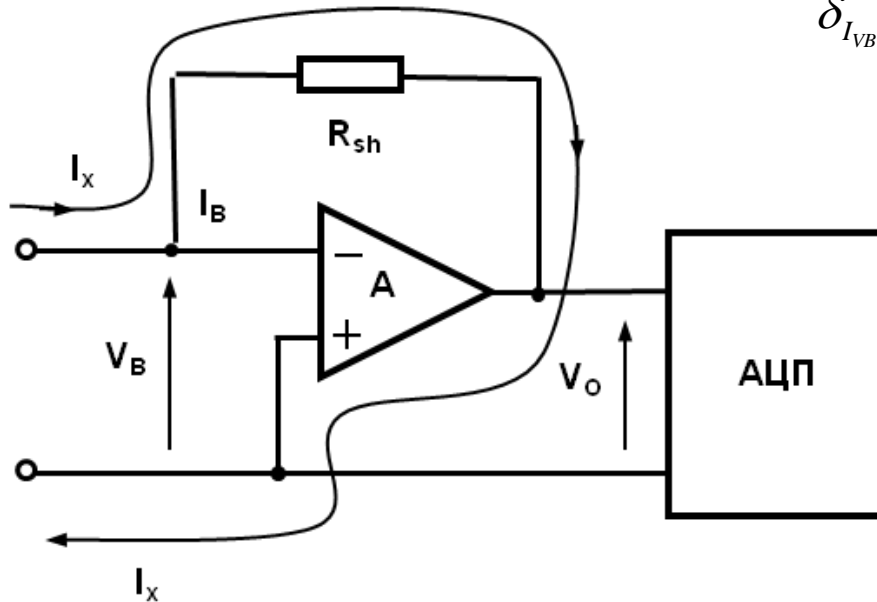
$$I_X = \frac{E}{R_O} \quad I_m = \frac{E - V_B}{R_O} \quad \delta_{I_{VB}} = I_m = \frac{I_m - I_X}{I_X} = -\frac{V_B}{E} \cdot 100\%$$



Измерване на постоянен ток

Активен преобразувател на ток в напрежение

- Влияние на напрежителния пад върху шунтовия резистор (Voltage Burden)



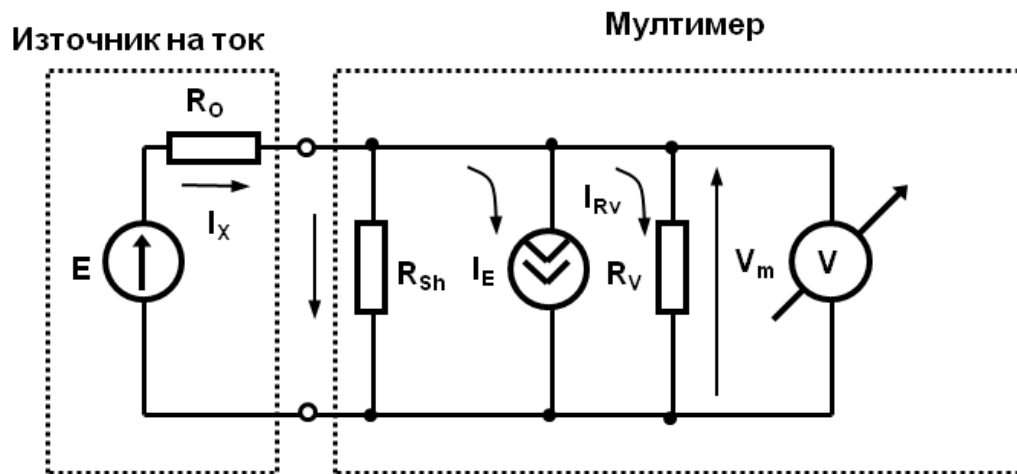
$$\delta_{I_{VB}} = I_m = \frac{I_m - I_X}{I_X} = -\frac{V_B}{E} \cdot 100\%$$

$$V_B = \frac{V_o}{A}$$

Измерване на постоянен ток

Грешки причинени от неидеалността на измервателя.

- I_{RV} - входния ток на измервателя причинен от крайната стойност на входното му съпротивление R_V .
- I_E - източници на паразитни утечни токове в измервателната конфигурация.



$$I_m = I_X \pm \left(\frac{V_m}{R_O} + I_E + I_{RV} \right)$$

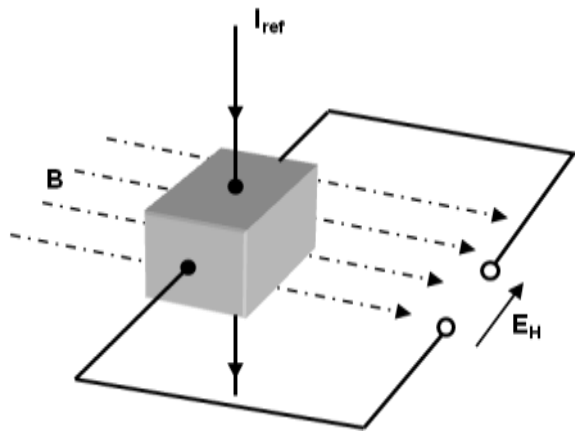
$$\frac{V_m}{R_O} = \frac{V_B}{R_O}$$

Безконтактни методи за измерване на ток

Безконтактно измерване на ток се осъществява чрез допълнителни преобразователни пробници

Съществуват два основни метода за безконтактно преобразуване:

- ✓ - токов трансформатор (Current Transformers - CTs)
- ✓ - преобразуване с датчик на Хол (Hall Effect Probes).



$$E_H = K_1 I_{ref} B = K_2 I_X$$



Измерване на променливи напрежения и токове

- Повечето измервателни уреди още при ниски честоти не могат да следят моментните стойности и показват осреднени стойности.
- Информацията за честотата се губи. При променлив ток или напрежение се измерват основно върхови или средни стойности.
- Ограничението в честотната лента се обуславя главно от честотната характеристика на преобразувателя на ефективна стойност и от усилвателните схеми на входа на мултимера.
- Допълнителни грешки в измерването се появяват от влиянието на параметрите на входната верига на волтметъра върху измервания обект.

Измерване на променливи напрежения и токове

➤ Ефективна стойност (Root Mean Square Value) на променлив ток (I_{RMS}) е равна на големината на постоянен ток (I), при протичането на който през един резистор за 1 s се отделя същото количество топлина (Q), както и при протичане на променливия ток.

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E^2(t) dt}$$

➤ Средна изправена стойност (Mean Value) Средната стойност на сумата на моментните абсолютни стойности за един период. Площтта заградена от кривата.

$$E_M = \frac{1}{T} \int_0^T |E(t)| dt$$

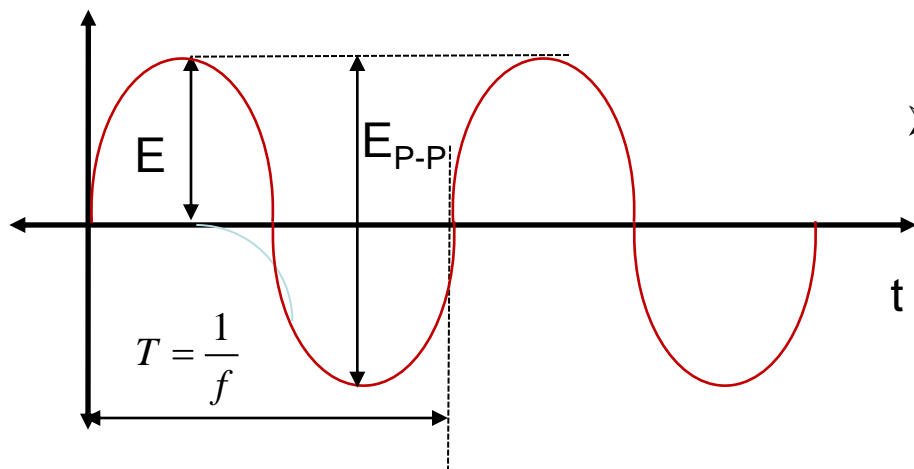
➤ Фактор на формата (Form Factor) Отношение на ефективната към средно изправената стойност

$$FF = \frac{E_{RMS}}{E_M}$$

➤ Crest Factor Отношение на амплитудата към ефективната стойност

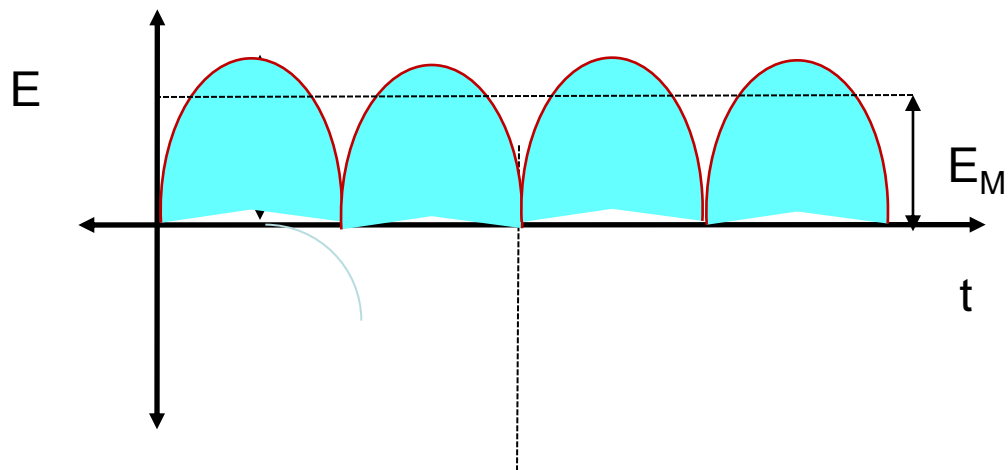
$$CF = \frac{E}{E_{RMS}}$$

Измерване на променливи напрежения и токове



➤ Сигнал

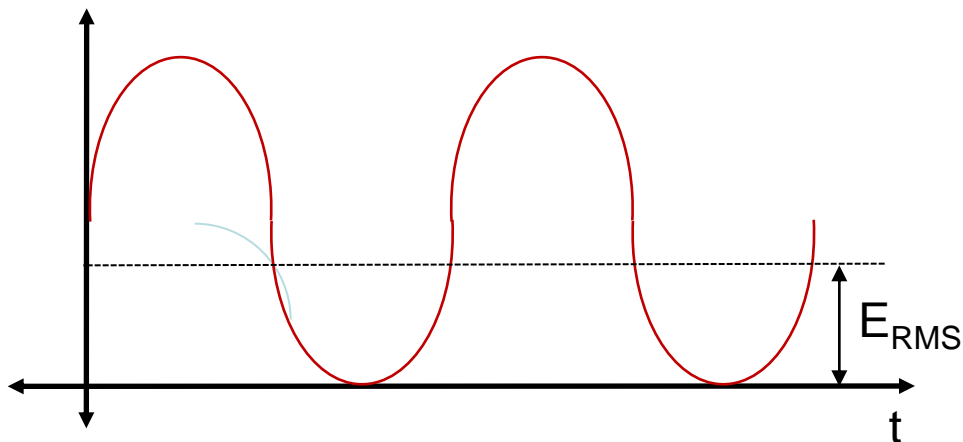
$$E(t) = E \sin \omega t$$



➤ Средно изправена стойност

$$E_M = \frac{1}{T} \int_0^T |E \sin(\omega t)| dt$$

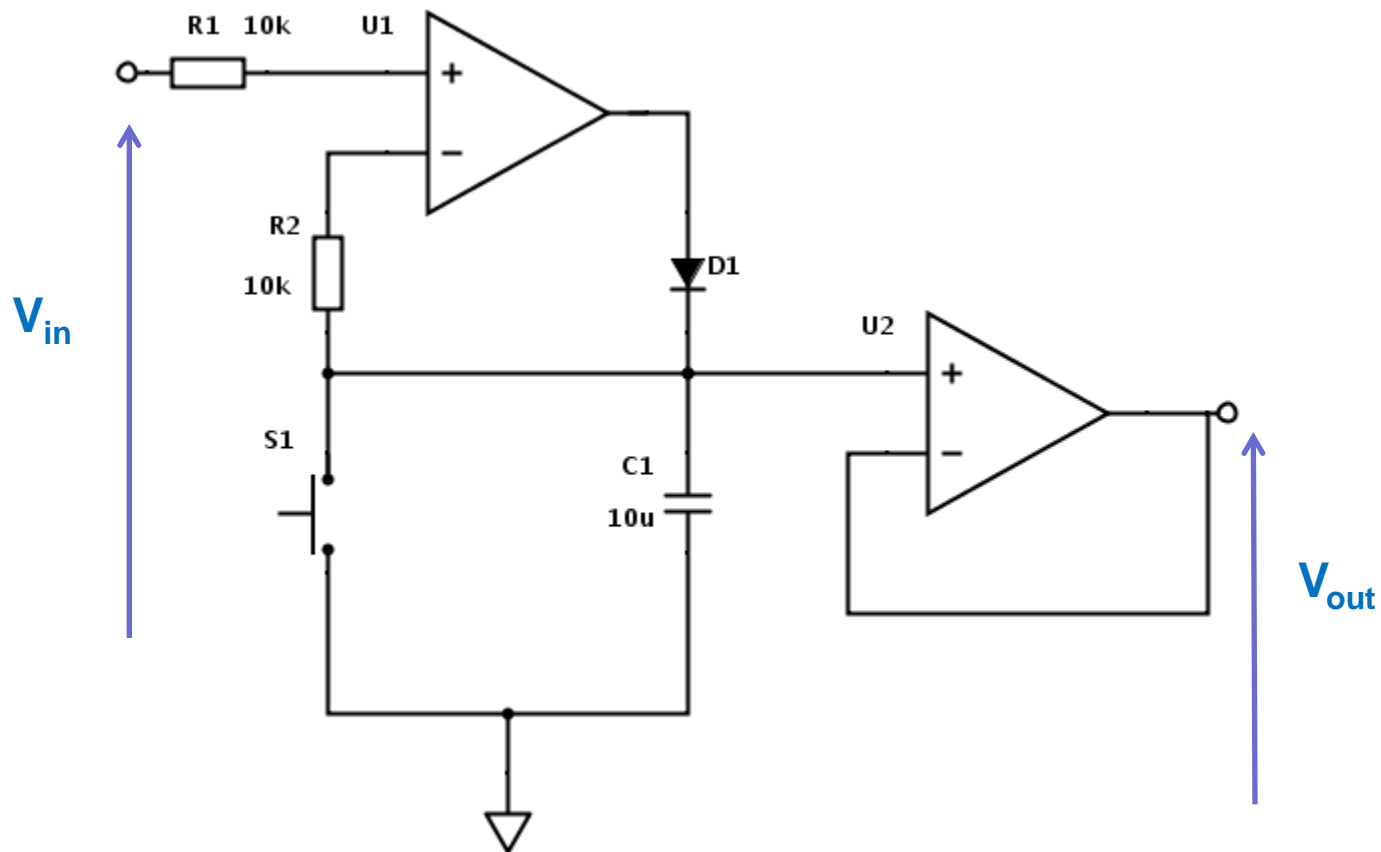
Измерване на променливи напрежения и токове



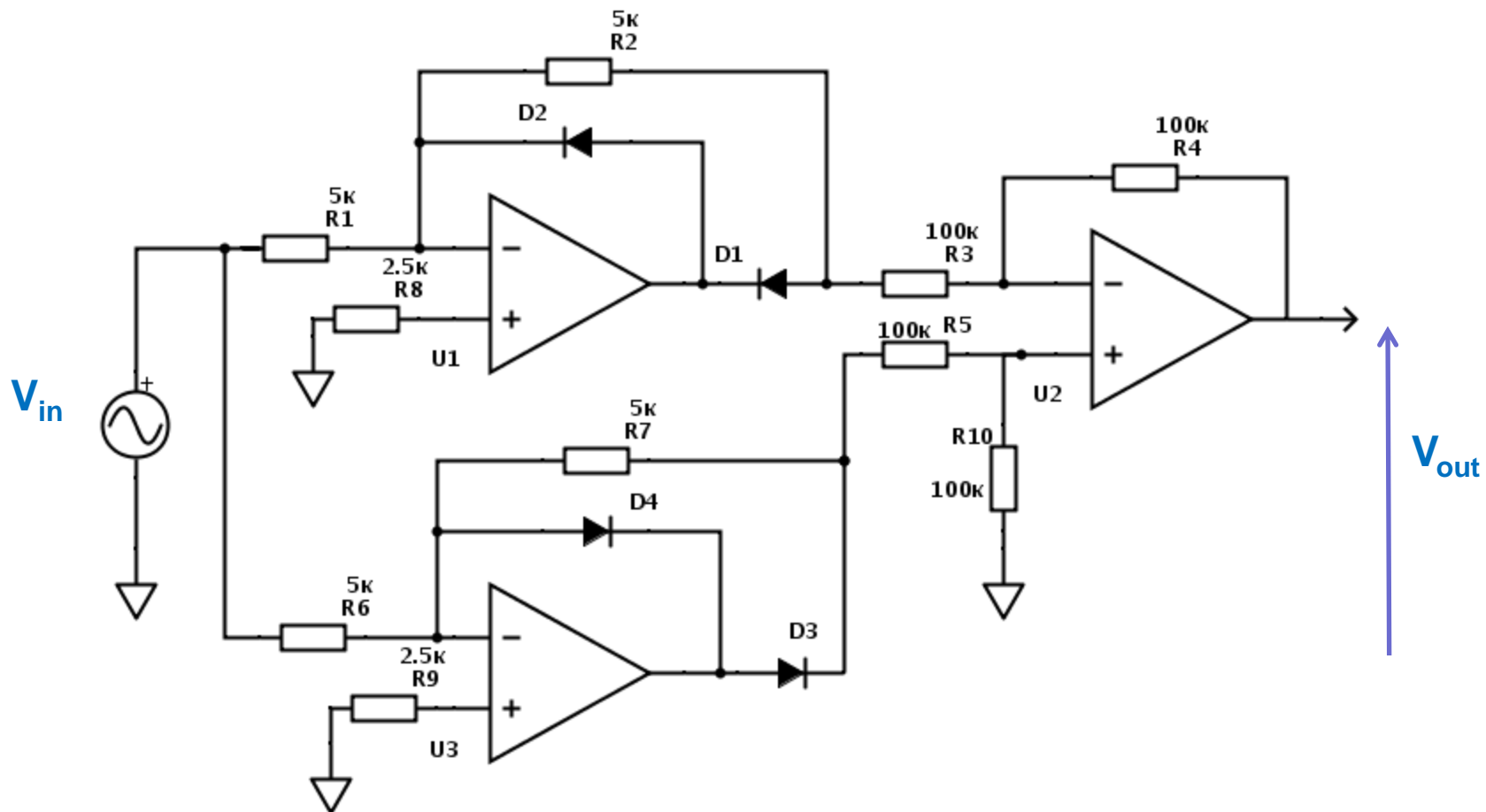
➤ Ефективна стойност

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (E \sin(\omega t))^2 dt}$$

Активен върхов детектор



Активен изправител на средна стойност

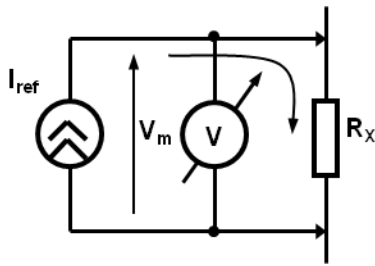


Измерване на съпротивление

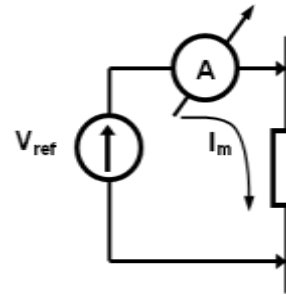
Методи за измерване на съпротивление

Два основни метода

- С източник на еталонен ток ;
- С източник на еталонно напрежение.



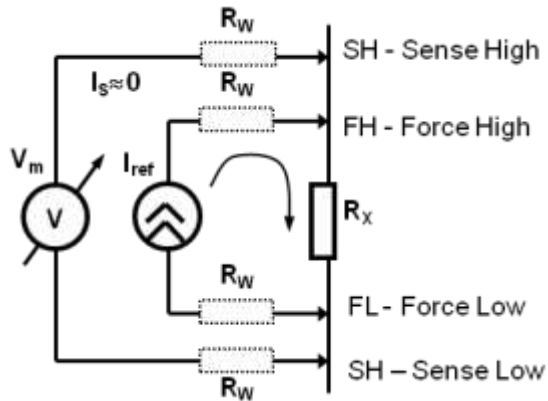
$$R_X = \frac{V_m}{I_{ref}}$$



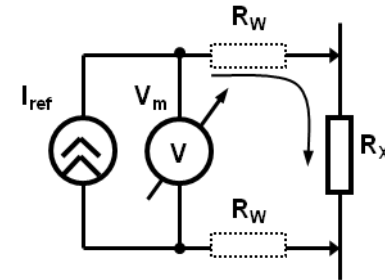
$$R_X = \frac{V_{ref}}{I_m}$$

Измерване на съпротивление с ниска стойност

Четириклемно измерване на съпротивление.



Грешка внасяна от съпротивлението на проводниците



$$V_m = I_{ref} (R_X + 2R_W)$$

$$\delta_R = \frac{(R_X + 2R_W) - R_X}{R_X} = \frac{2R_W}{R_X}$$

Характеристики и параметри на мултимерите

- измервателни обхвати (*Measurement Range*);
- брой десетични цифри (разреди на показанието *Digits Displayed*)
- разделителна способност (*Resolution*)
- точност (грешка (*Accuracy*));
- входен импеданс;
- честотен обхват ;
- бързодействие;
- видове измервани величини ;
- вид на интерфейса за връзка с компютър.

допълнителни характеристики

- грешка от температурата;
- грешка от стареене;
- коефициент на подтискане на синфазни сигнали;
- коефициент на подтискане на шума.

Характеристики и параметри на мултимерите

HP3478A на Agilent

Обхват (Range)	Разделителна способност (Resolution)	Входно съпротивление (Input Resistance)	Грешка (Accuracy)			Температурен коэффициент (Temperature Coefficient)
			Cal. Temp			
			$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 24 часа	$\pm 5^{\circ}\text{C}$ 90 дена	$\pm 5^{\circ}\text{C}$ 1 година	
30mV	100nV	$>10^{10}\Omega$	0,0025+40	0,0275+40	0,035+40	0,0028+5
300mV	1 μ V	$>10^{10}\Omega$	0,004+4	0,005+5	0,007+5	0,0005+0.5
3V	10 μ V	$>10^{10}\Omega$	0,003+2	0,004+2	0,006+2	0,0004+0.05
30V	100 μ V	$10\text{M}\Omega \pm 1\%$	0,004+3	0,005+4	0,007+4	0,0006+0.5
300V	1mV	$10\text{M}\Omega \pm 1\%$	0,004+2	0,005+2	0,007+2	0,0004+0.05

Характеристики и параметри на мултимерите



Agilent 34401A 6 1/2 цифри

Основни характеристики

- 12 измервателни функции
- 1000 V максимално входно напрежение
- 0.0015% (15 ppm) базова точност за DCV (24-часа след калибровка)
- 0.06% базова точност за ACV (1 година след калибровка)
- GPIB и RS-232 интерфейси
- SCPI съвместимост