

# Измервания в електрониката

## **Модул 10: Анализатори на статични характеристики и електронни товари**

# Съдържание

- **Волт- амперни характеристики**
- **Стимулиращо-измервателни модули (SMU)**
- **Класификация и техническа спецификация на анализаторите на статични характеристики**
- **Изследване на елементи**
- **Електронни товари**

# Волт- амперни характеристики

Статичните характеристики са зависимости между токове и напрежения в установен режим на изследваното изделие.

Биват два основни вида:

- Линејни - Статичните характеристики на пасивните електронни компоненти (резистори, кондензатори, бобини)
- Нелинейни - Статични характеристики на активните елементи (диодни, транзистори, схеми реализирани с тях и др.).

# Волт- амперни характеристики

## За четириполюсник:

- Входни характеристики;
- Изходни характеристики;
- Характеристики на правото предаване;
- Характеристики на обратното предаване.

## За двуполюсник:

- Една волт-амперна характеристика

# Волт- амперни характеристики



## За четириполюсник:

- Входни характеристики;
- Изходни характеристики;
- Характеристики на правото предаване;
- Характеристики на обратното предаване.

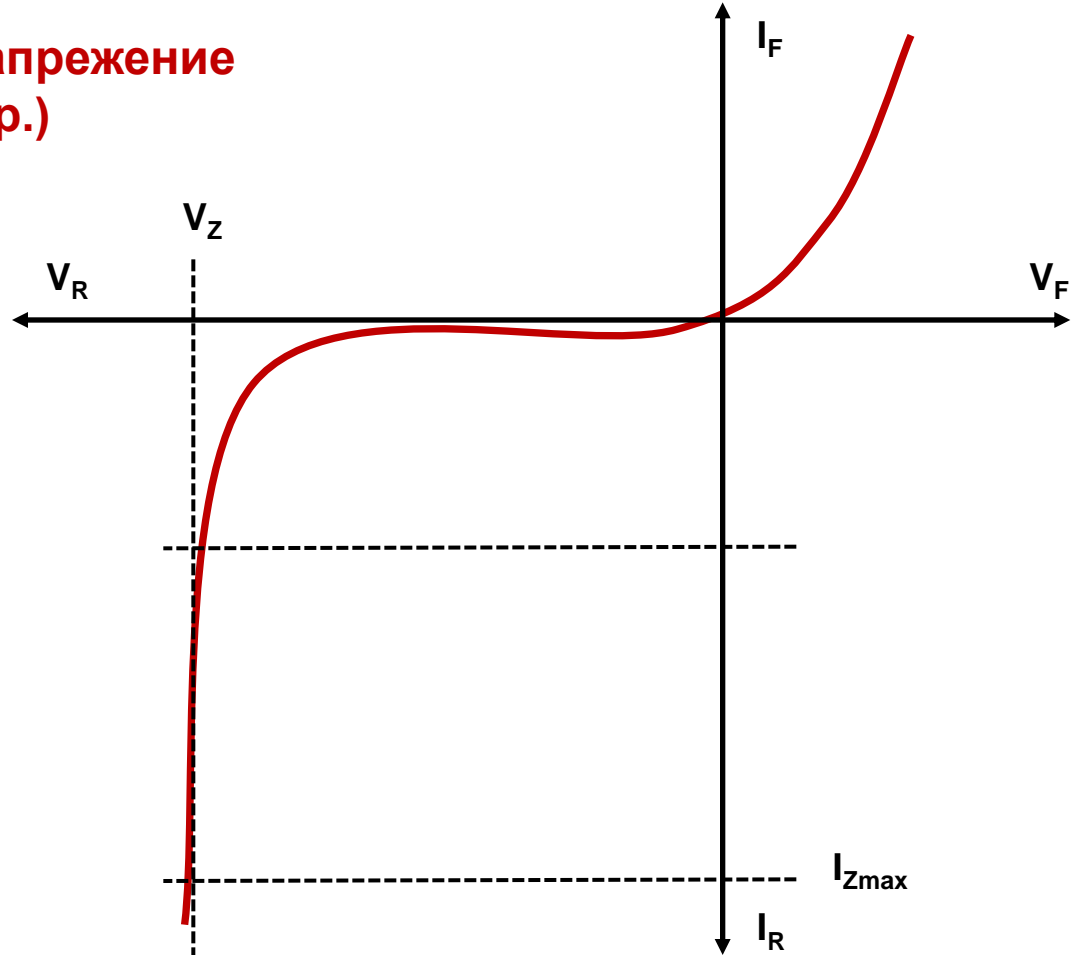
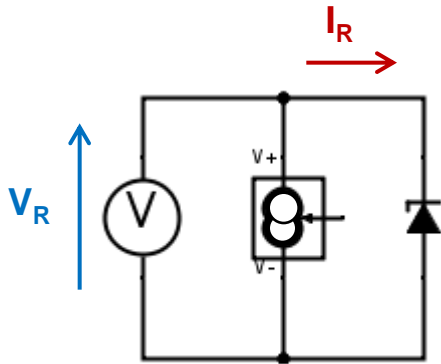
## Според характера на изменение на тока от напрежението:

- Стабилизатор на напрежение;
- Стабилизатор на ток;
- Характеристика от N тип;
- Характеристика от S тип.

# Волт-амперни характеристики

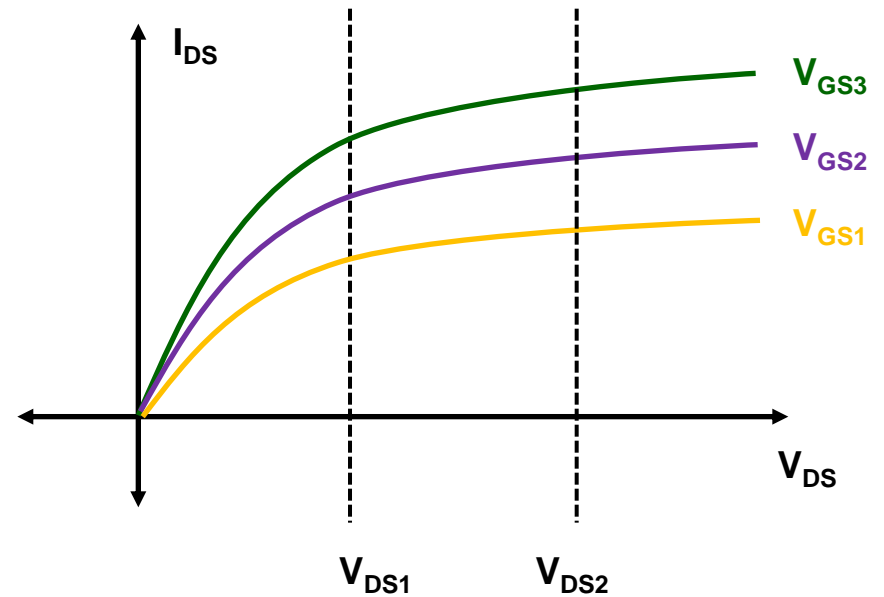
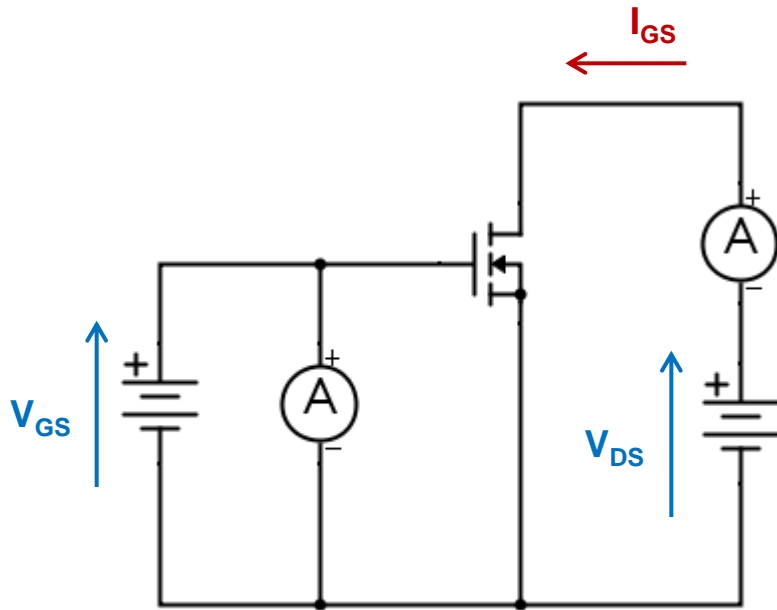
Нелинейните статични характеристики биват:

Тип стабилизатори на напрежение  
(ценов диод, диод и др.)



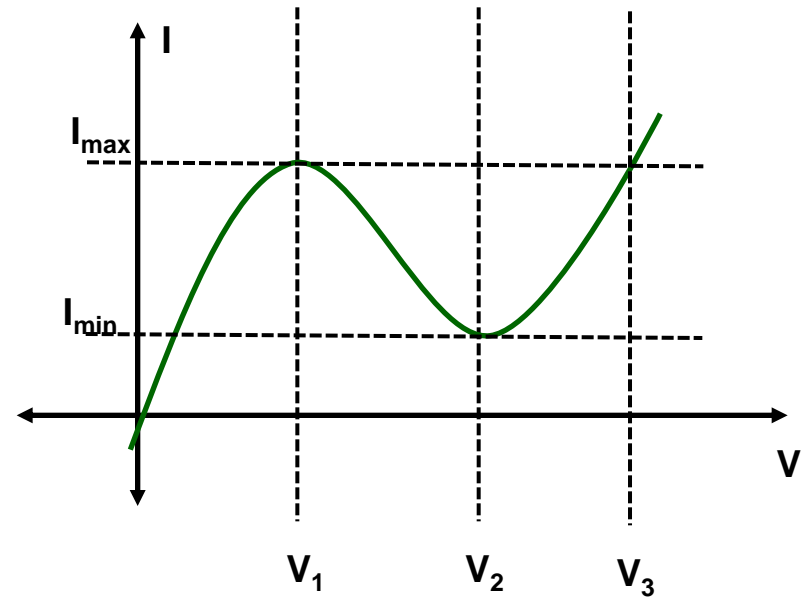
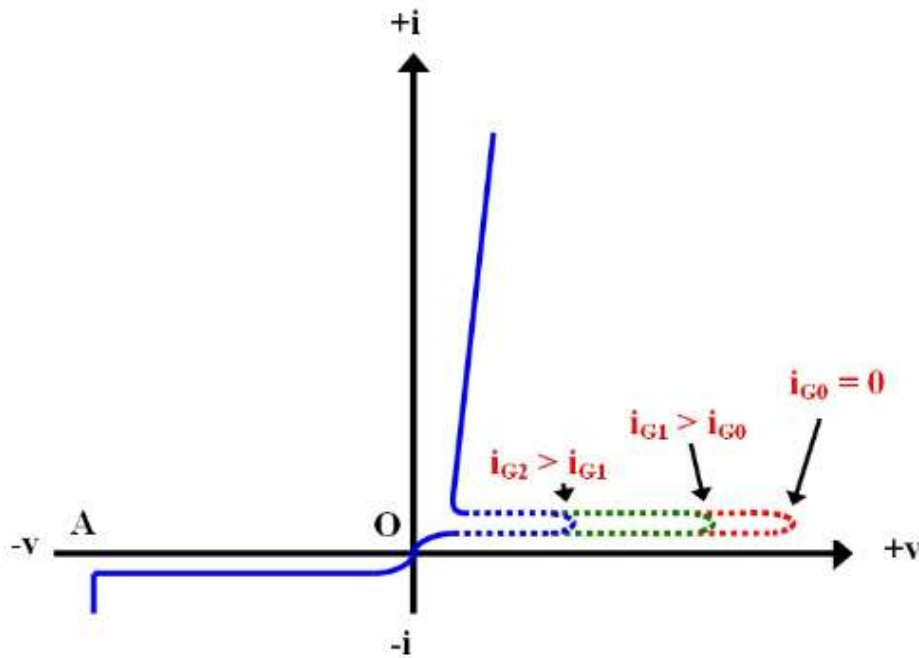
# Волт-амперни характеристики

Тип стабилизатори на ток (изходна характеристика на транзистор)



# Волт-амперни характеристики

Специална група волт-амперни характеристики, в които съществува участък с отрицателно диференциално съпротивление (S-тип за тиристорите, N-тип за тунелните диоди).



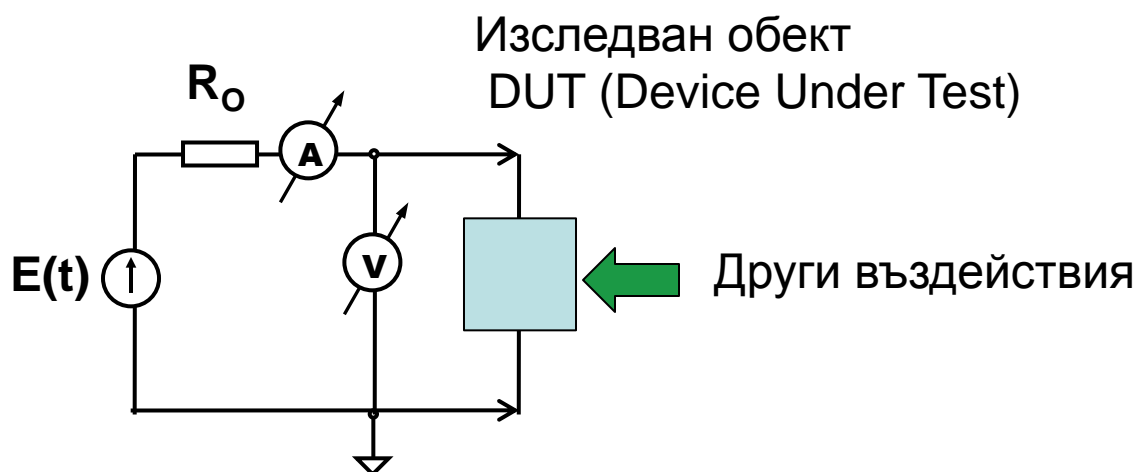


# Волт- амперни характеристики

- Характеристиките от тип стабилизатори на напрежение и тези от S-тип се снемат от стимулиращ източник проявяващ се като генератор на ток.
- Обратно - характеристики от тип стабилизатор на ток и N-тип изискват стимулиращ източник генератор на напрежение.
- Практикуват се основно снемане на статични характеристики - по постоянен ток и в импулсен режим.
- Границите на изменение на токовете и напреженията варират значително за различните видове прибори - от микроампери и няколко волта за маломощните прибори и схеми до хиляди ампери и коловолти за мощните елементи.

# Волт-амперни характеристики

Методи за снемане на волт-амперни характеристики



Обобщена схема за снемане на волт-амперни характеристики

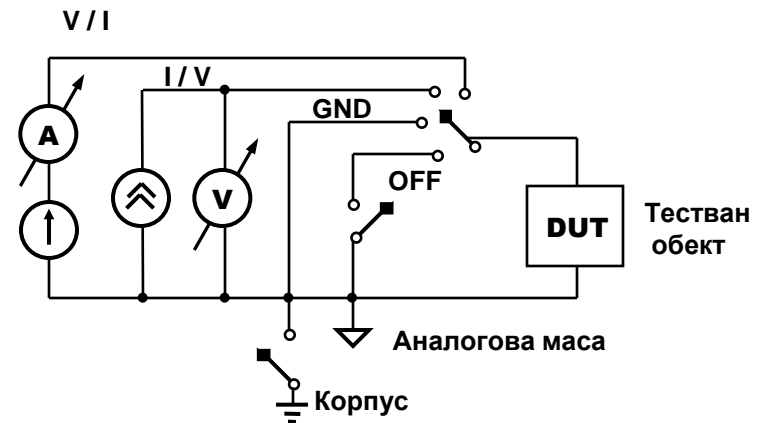
# Стимулиращо-измервателни модули

## Source Measure Units (SMU)

Програмируеми модули, които могат да реализират следните режими на работа:

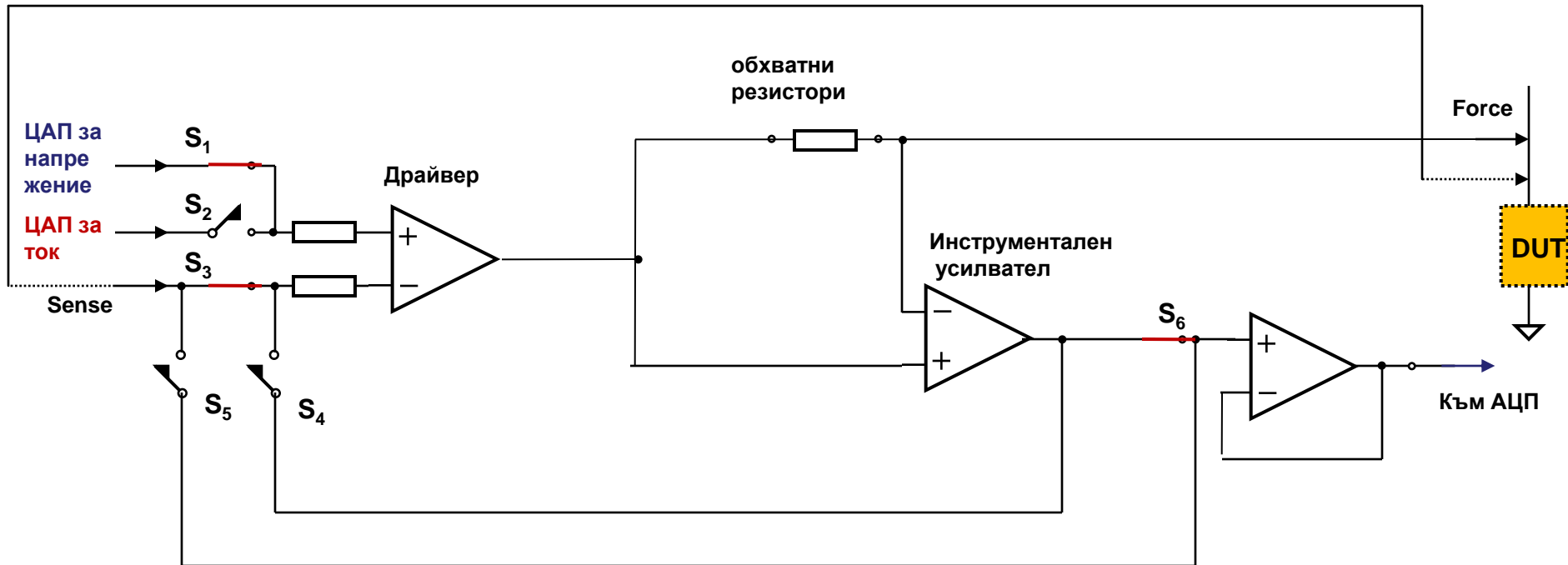
- Генератор на напрежение - измервател на ток - режим  $V / I$ .
- Генератор на ток - измервател на напрежение - режим  $I / V$ .
- Свързване към маса - режим - GND.
- Отворена верига - режим - OFF.

Когато SMU модула работи като генератор на напрежение се задава ограничение за тока и обратно.



# Стимулиращо-измервателни модули

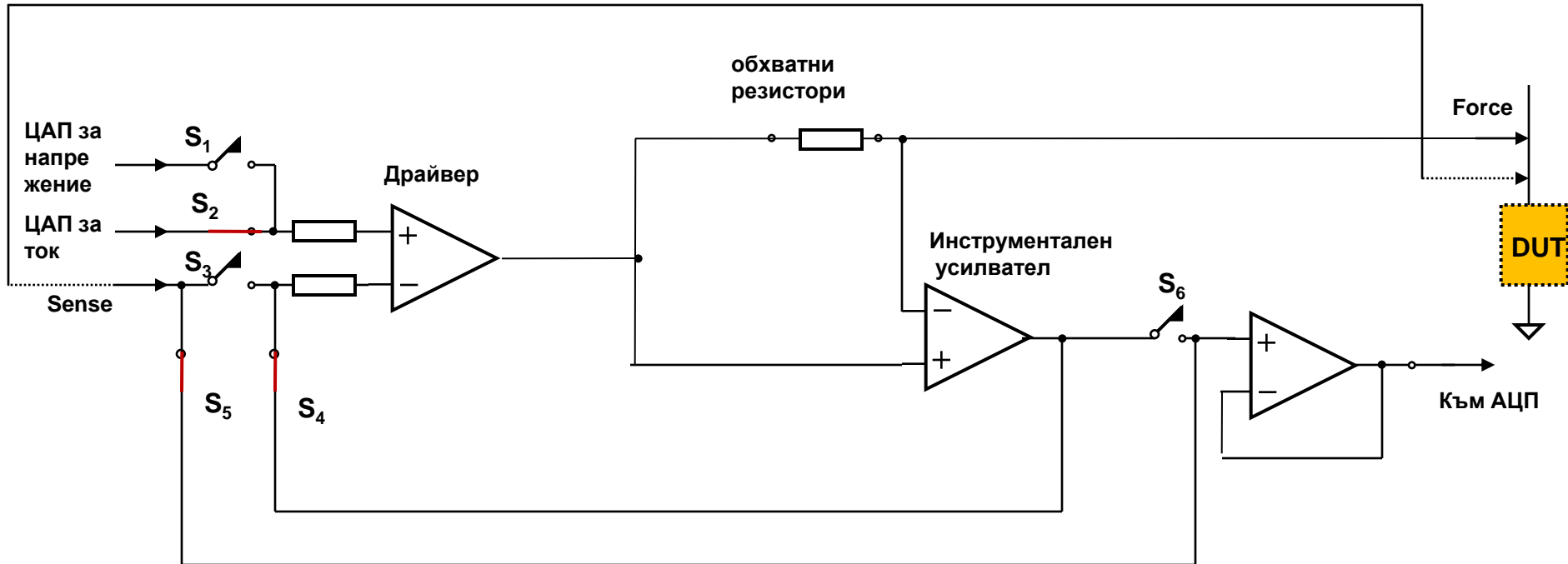
## Принцип на работа на SMU



Източник на напрежение измервател на ток (V/I)

# Стимулиращо-измервателни модули

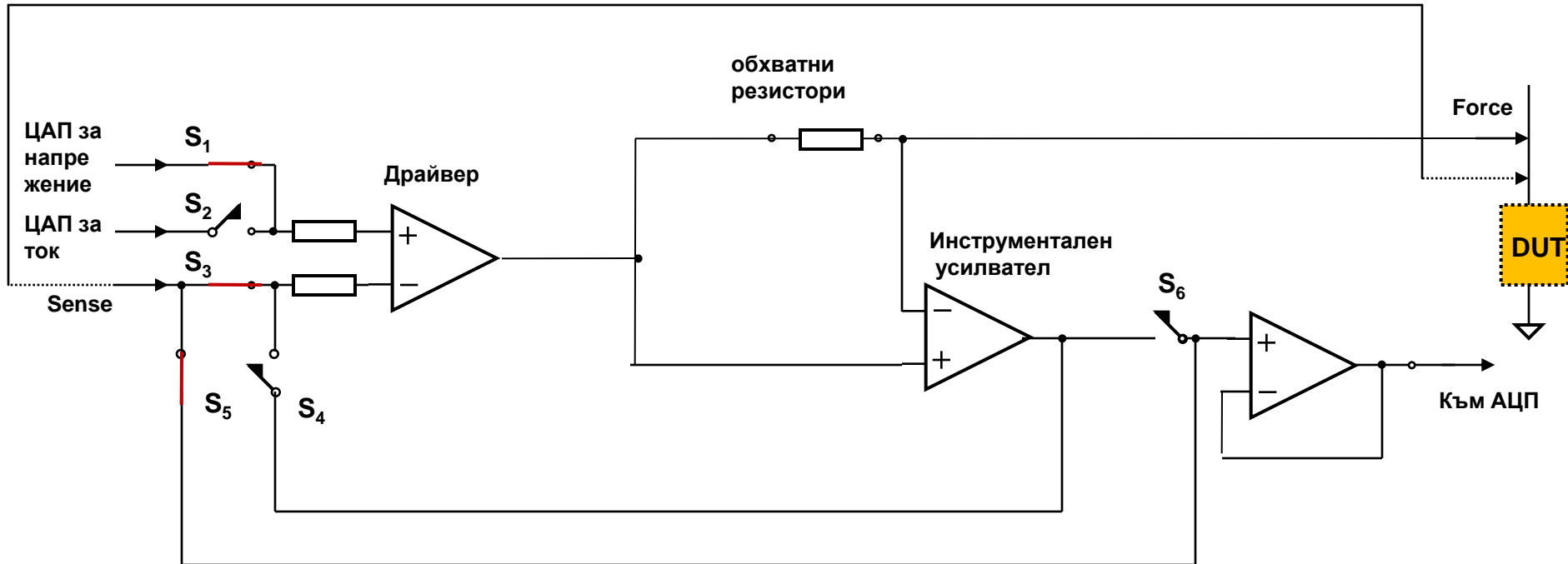
## Принцип на работа на SMU



Източник на ток измервател на напрежение (I/V)

# Стимулиращо-измервателни модули

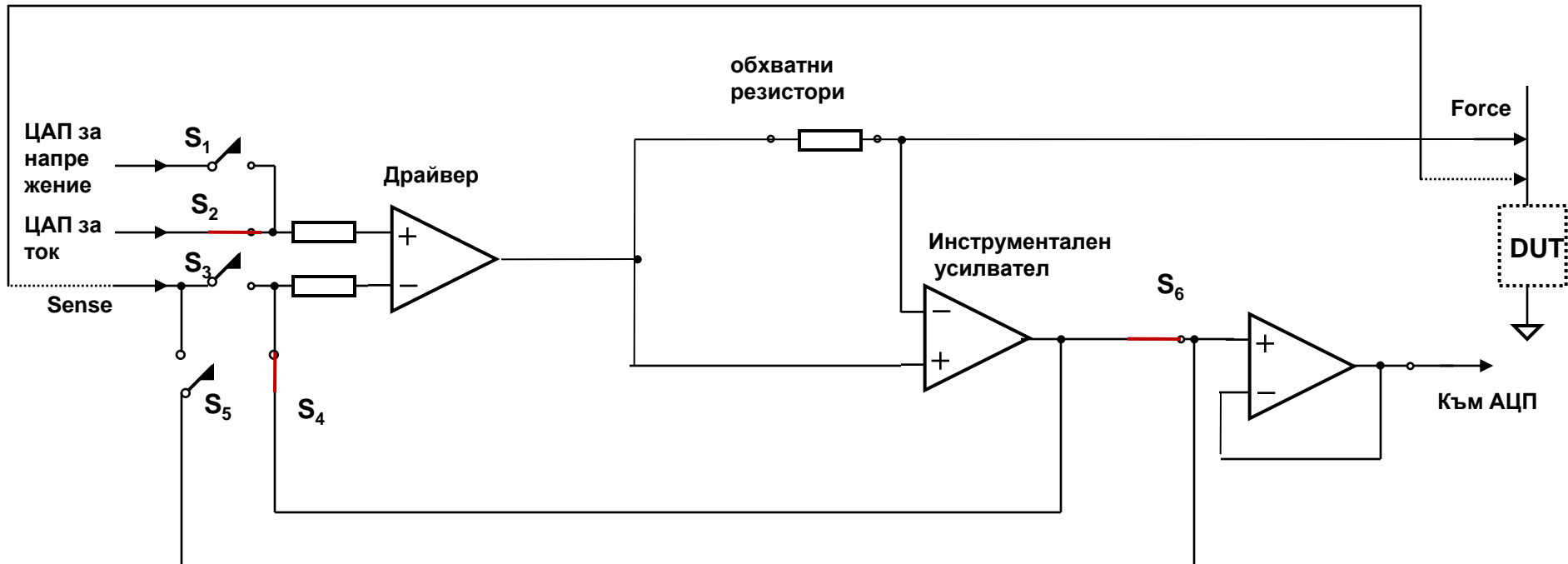
## Принцип на работа на SMU



Източник на напрежение измервател на напрежение (V/V)

# Стимулиращо-измервателни модули

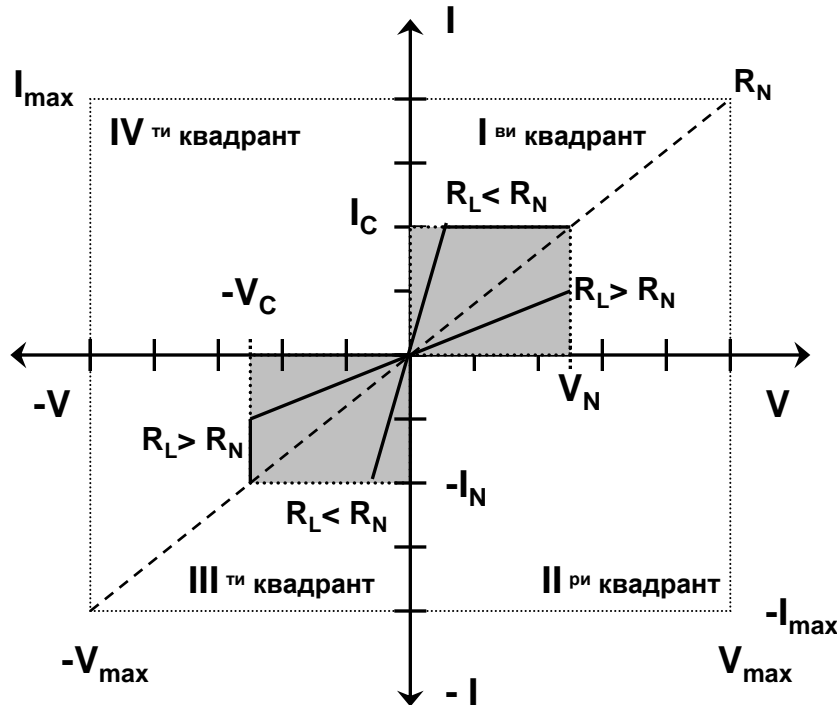
## Принцип на работа на SMU



Източник на ток измервател на ток (I/I)

# Стимулиращо-измервателни модули

Товарни характеристики на модулите SMU.

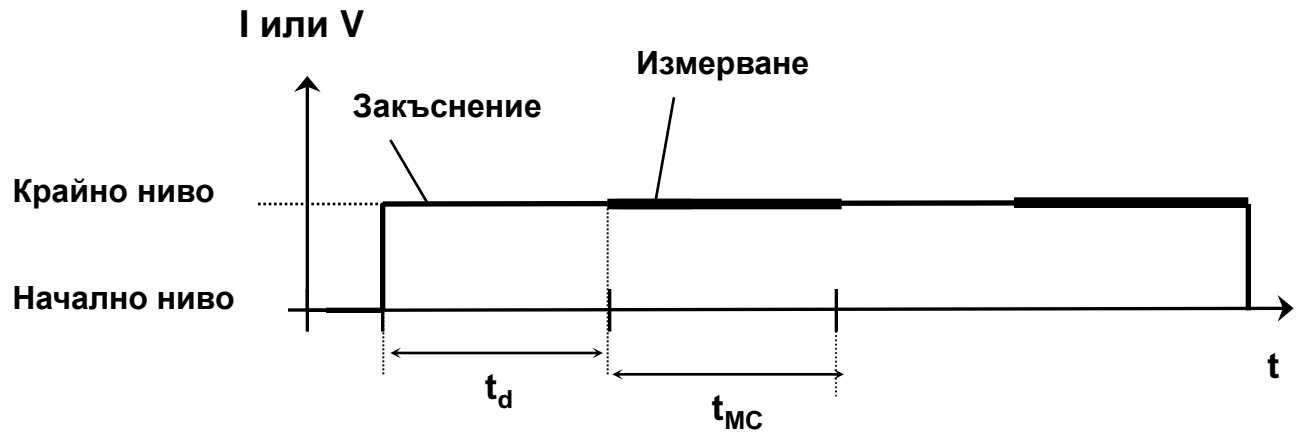


$$R_L \leq R_N = \frac{V_N}{I_C}$$



# Стимулиращо-измервателни модули

Времени развивки на модулите SMU.



## Постоянна развивка

$t_d$  – програмируемо време на закъснение

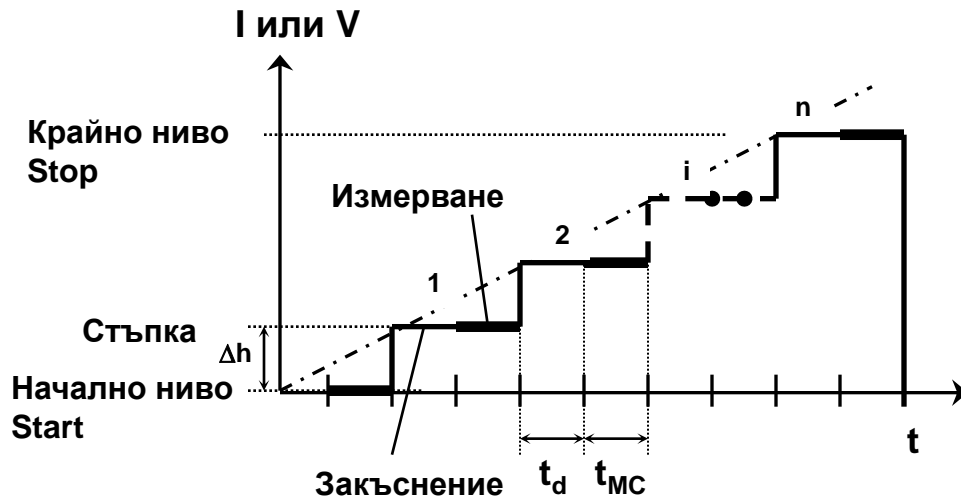
$t_{MC}$  – време за измерване

## Програмира се:

Крайно ниво (LEVEL), Брой измервания (COUNT), Закъснение (DELAY), Начално ниво (BIAS)

# Стимулиращо-измервателни модули

## Времени развивки на модулите SMU.



Програмира се:  
Начално ниво (START), Стъпка (STEP), Закъснение (DELAY), Крайно ниво (STOP)

### Линейна непрекъснатата развивка

t<sub>d</sub> – програмируемо време на закъснение

t<sub>МС</sub> – време за измерване

# Стимулиращо-измервателни модули

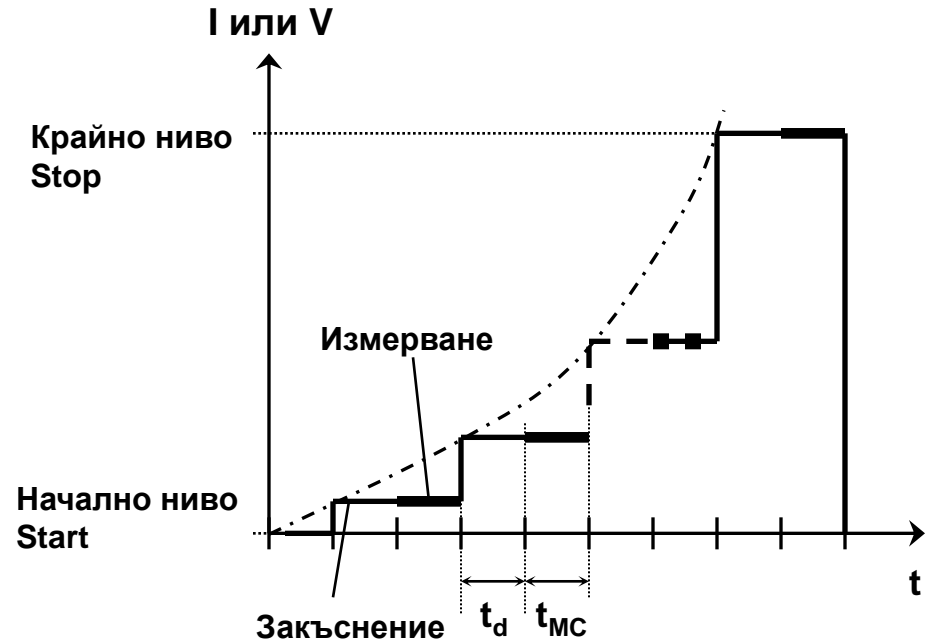
## Времеви развивки на модулите SMU.

### Логаритмична непрекъсната развивка

$t_d$  – програмируемо време на закъснение

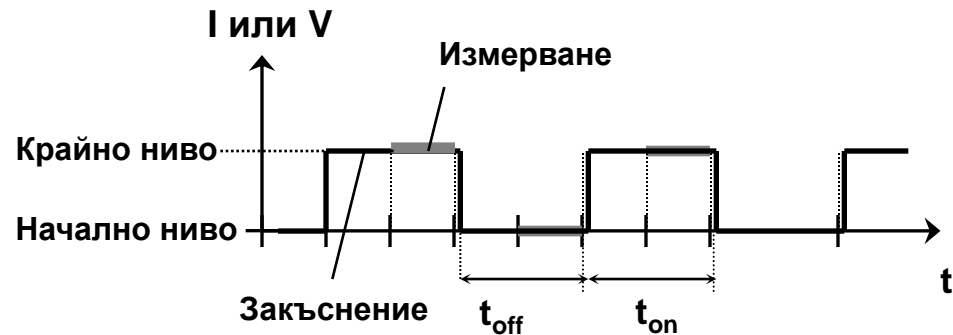
$t_{MC}$  – време за измерване

Задават се точки/декада (points/decade) 5, 10, 25, или 50.



# Стимулиращо-измервателни модули

Времени развивки на модулите SMU.



## Импулси с еднакъв размах

$t_d$  – програмируемо време на закъснение

$t_{MC}$  – време за измерване

$t_{on}$  – време при високо ниво

$t_{off}$  – време при ниско ниво

## Програмира се:

Крайно ниво (LEVEL), Брой измервания (COUNT), Закъснение (DELAY), Начално ниво (BIAS),  $t_{on}$  – време при високо ниво,  $t_{off}$  – време при ниско ниво

# Стимулиращо-измервателни модули

## Времеви развивки на модулите SMU.

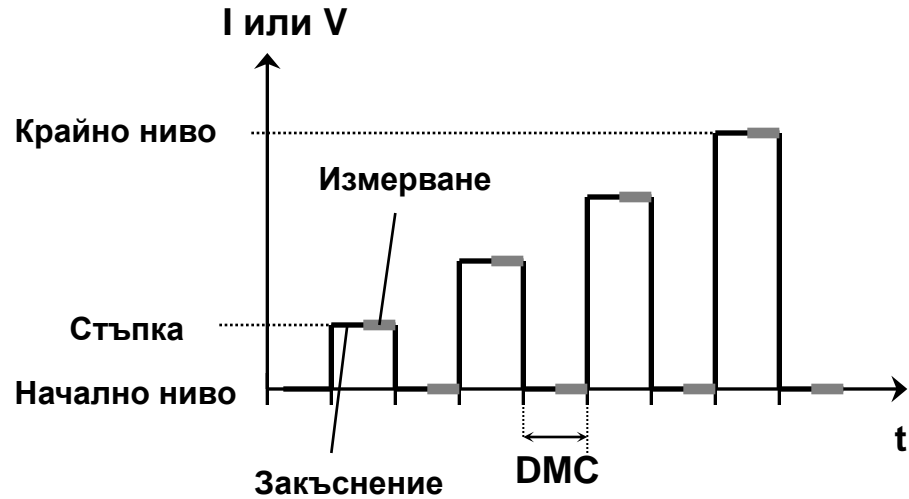
### Линейна импулсна развивка

$t_d$  – програмируемо време на закъснение

$t_{MC}$  – време за измерване

$t_{on}$  – време при високо ниво

$t_{off}$  – време при ниско ниво



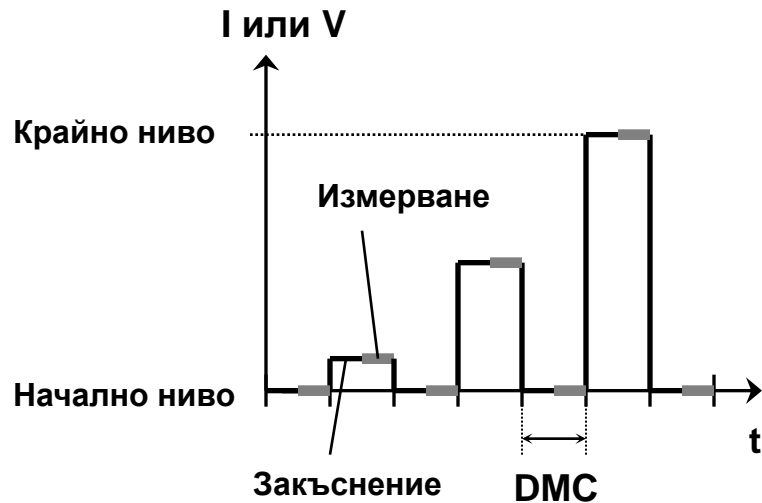
### Програмира се:

Начално ниво (START), Закъснение (DELAY), Крайно ниво (STOP),  $t_{on}$  – време при високо ниво,  $t_{off}$  – време при ниско ниво

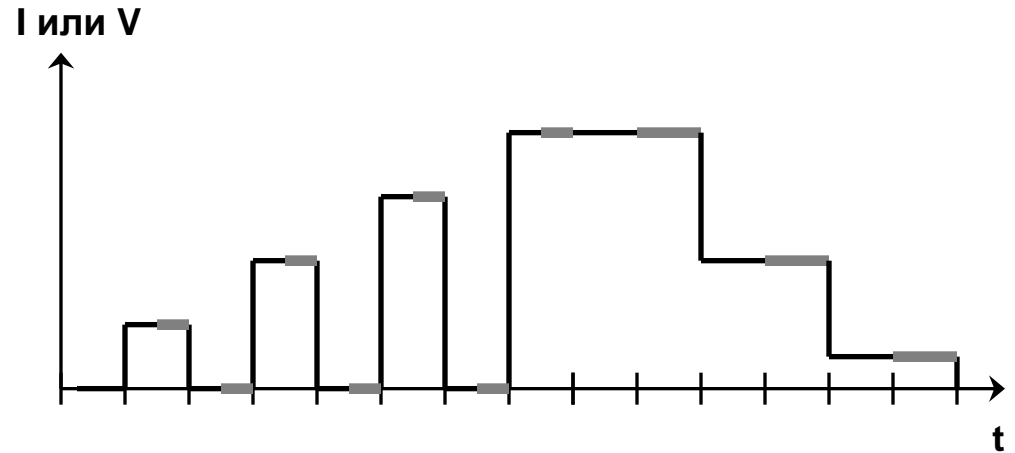
# Стимулиращо-измервателни модули

Времеви развивки на модулите SMU.

Логаритмична импулсна развивка



Комбинирана развивка



# Стимулиращо-измервателни модули

## Методи за повишаване на точността на SMU

### **Усредняване.**

Усредняването се извършва или базово (Repeating), при което крайния резултат се извежда след зададени от оператора брой отчети или непрекъснато (moving). При непрекъснатото усредняване за всеки нов отчет се извежда нов резултат, като се изважда първия отчет и прибавя последния. Така се следи във времето изменението на формираната средна стойност.

### **Автокалибровка.**

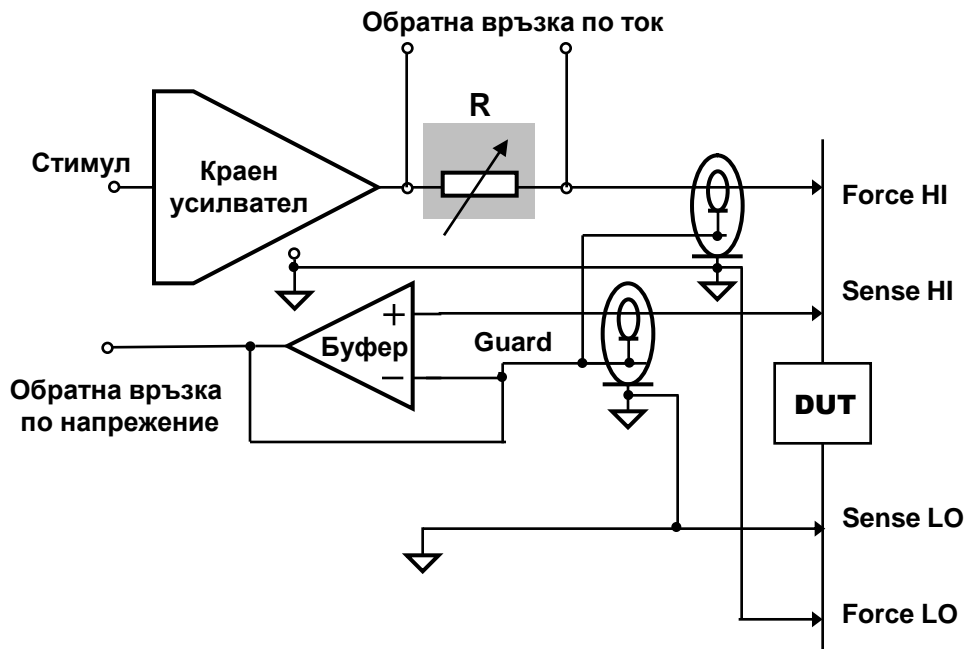
Автоматично се залагат в системите за управление режими за измерване при късо съединение и празен ход на входовете на аналоговите усилвателни схеми на модула или измерване на вградени еталонни величини.

### **Четириклемно измерване чрез триаксиални кабели**

# Стимулиращо-измервателни модули

## Методи за повишаване на точността на SMU

Четириклемно измерване чрез триаксиални кабели.





# Стимулиращо-измервателни модули

## Метрологически характеристики на SMU

Типови модули	E5280B HPSMU	E5281B MPSMU	E5287A HRSMU	E5288A ASU	B1505A HCSTMU	B1505A HVSMU
Максимално напрежение	$\pm 200 \text{ V}$	$\pm 100 \text{ V}$	$\pm 100 \text{ V}$	$\pm 100 \text{ V}$	$\pm 20 \text{ V}$	$\pm 3000 \text{ V}$
Максимален ток	$\pm 1 \text{ A}$	$\pm 100 \text{ mA}$	$\pm 100 \text{ mA}$	$\pm 100 \text{ mA}$	$\pm 20 \text{ A}$	$\pm 4 \text{ mA}$
Разделителна способност по напрежение	$2 \mu\text{V}$	$0,5 \mu\text{V}$	$0,5 \mu\text{V}$	$0,5 \mu\text{V}$	$\pm 200 \text{ nV}$	$\pm 200 \text{ mV}$
Разделителна способност по ток	$10 \text{ fA}$	$10 \text{ fA}$	$1 \text{ fA}$	$0,1 \text{ fA}$	$10 \text{ pA}$	$10 \text{ fA}$

С индексите пред абвиатурата SMU на модулите означават тяхната специфична особеност:

HP - High Power - Високомощен модул. HC – High Current, HV – High Voltage

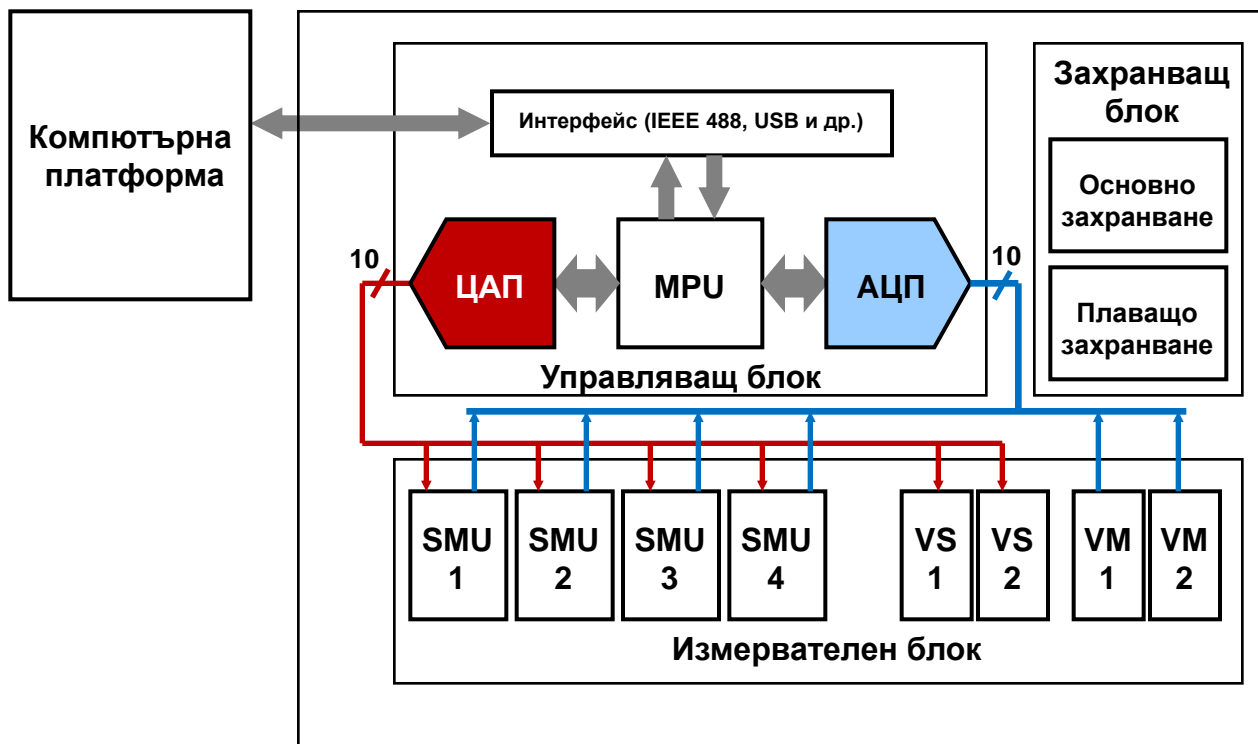
MP - Medium power - Средномощен модул

HR - High Resolution - модул с висока разделителна способност.

ASU - Atto sense and Switch Unit - атоамперметър и превключващ модул.

# Класификация и техническа спецификация на анализаторите на статични характеристики

## Блокова схема на анализатор на статични характеристики



# Класификация и техническа спецификация на анализаторите на статични характеристики

## Класификация според конструктивни особености



# Класификация и техническа спецификация на анализаторите на статични характеристики

**E 5262 A на Agilent MPSPMU 2 канала**



# Класификация и техническа спецификация на анализаторите на статични характеристики

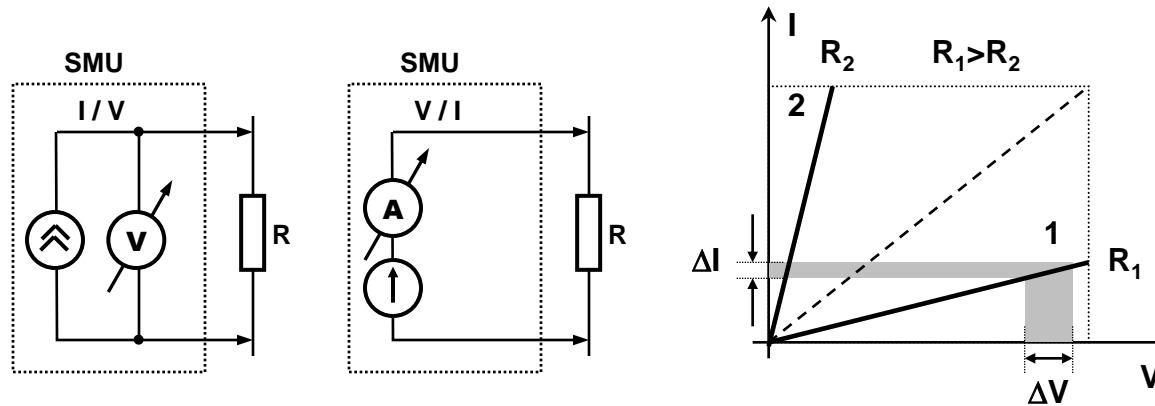
## Е 5262 А на Agilent MPSPMU 2 канала

Обхват по напрежение	Разделителна способност		Грешка		Максимален изходен ток
	Източник	Измерв.	Източник	Измервател	
±2 V	100 μV	100 μV	±(0,03% + 900 μV)	±(0,03% + 700 μV)	200 mA
±20 V	1 mV	1 mV	±(0,03% + 4 mV)	±(0,03% + 4 mV)	200 mA
±40 V	2 mV	2 mV	±(0,03% + 7 mV)	±(0,03% + 8 mV)	50 mA
±100 V	5 mV	5 mV	±(0,04% + 15 mV)	±(0,03% + 20 mV)	20 mA

Обхват по ток	Разделителна способност		Грешка		Максимално изходно напрежение
	Източник	Измерв.	Източник	Измервател	
100 nA	5 pA	5 pA	±(0,12% + 50 pA)	±(0,1% + 30 pA)	100 V
1 μA	50 pA	50 pA	±(0,12% + 400 pA)	±(0,1% + 200 pA)	100 V
10 μA	500 pA	500 pA	±(0,12% + 5 nA)	±(0,1% + 3 nA)	100 V
100 μA	5 nA	5 nA	±(0,12% + 40 nA)	±(0,1% + 20 nA)	100 V
1 mA	50 nA	50 nA	±(0,12% + 500 nA)	±(0,1% + 300 nA)	100 V
10 mA	500 nA	500 nA	±(0,12% + 4 μA)	±(0,1% + 2 μA)	100 V
100 mA	5 μA	5 μA	±(0,12% + 50 μA)	±(0,1% + 30 μA)	20 V
200 mA	10 μA	10 μA	±(0,12% + 100 μA)	±(0,1% + 60 μA)	20 V

# Изследване на електронни компоненти

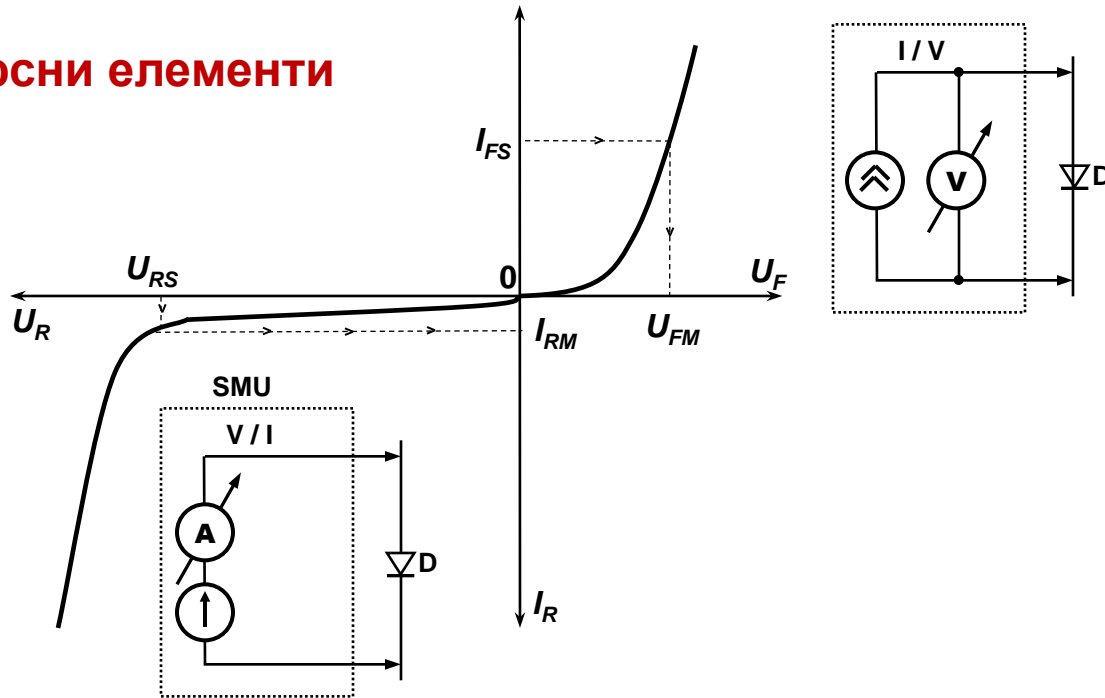
## Двуполюсни елементи



Изследване на съпротивителни елементи със SMU

# Изследване на електронни компоненти

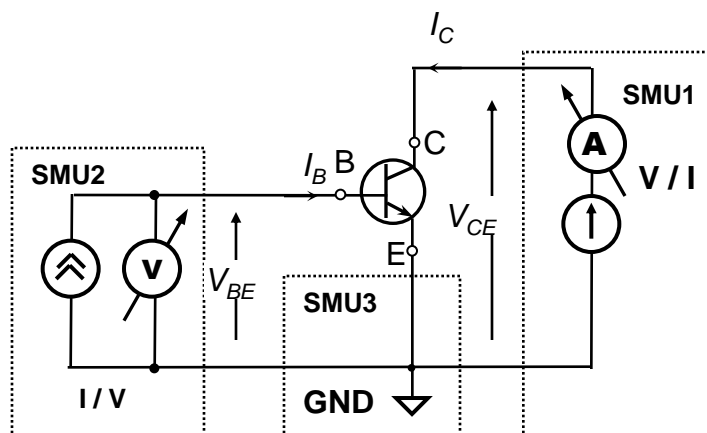
## Двуполюсни елементи



Изследване на диодни елементи със SMU

# Изследване на електронни компоненти

## Многополюсни елементи

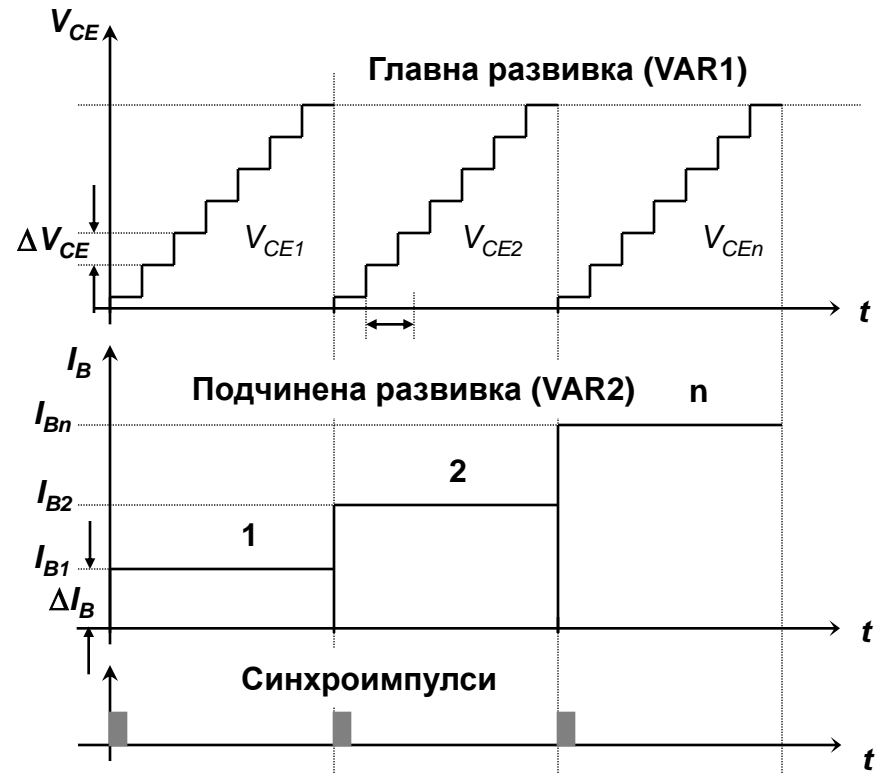


Изследване на биполярен транзистор със SMU



# Изследване на електронни компоненти

## Многополюсни елементи



Главна и подчинена развивки на модули SMU

# Анализатори на статични характеристики

## U2723A Agilent



- 3 канала SMU
- 4 Квадранта ( $\pm 20$  V,  $\pm 120$  mA)
- Ток от 100 pA с 16 бита разделителна способност
- 0.1% базова точност
- USB 2.0

# Анализатори на статични характеристики

## Keithley 6430



- Автономен SMU с изнесена токова сонда
- Ток от 400 аА до 100 mA
- Напрежение от 10  $\mu$ V до 200 V

# Анализатори на статични характеристики

## GS820 Yokogawa

- 2 канала SMU
- 4 Квадранта
- Напрежение от  $\pm 200$  mV –  $\pm 18$  V,
- Ток от  $\pm 200$  nA -  $\pm 2$  A



# Електронни товари

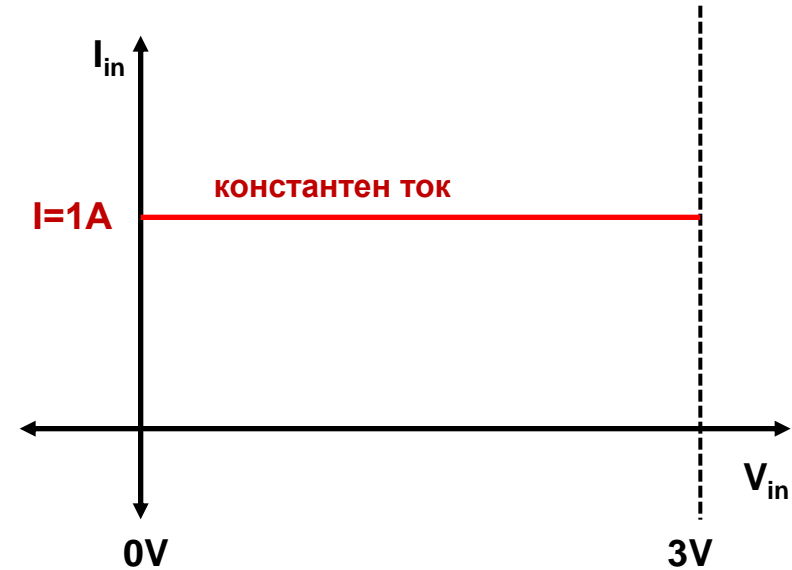
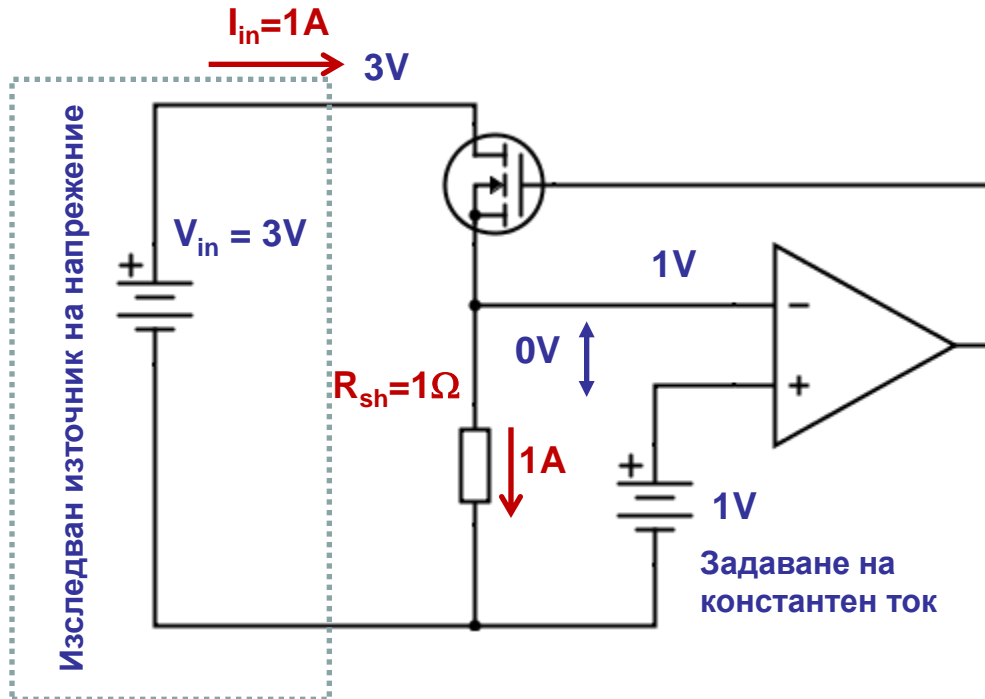
Товарите биват резистивни, индуктивни и капацитивни. В действителност поведението им е по-комплексно. Електронните постояннотокови товари работят основно в три режима:

- Константен ток (constant current - CC),
- Константно съпротивление (constant resistance - CR),
- Константно напрежение (constant voltage - CV).

# Електронни товари

## Режим на константен ток (constant current - CC)

Електронният товар черпи ток съответстващ на програмираната стойност, независимо от подаваното напрежение.



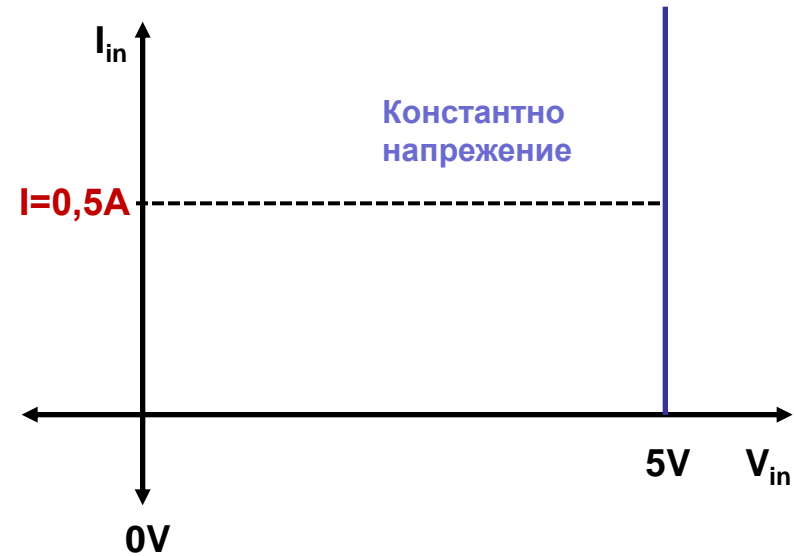
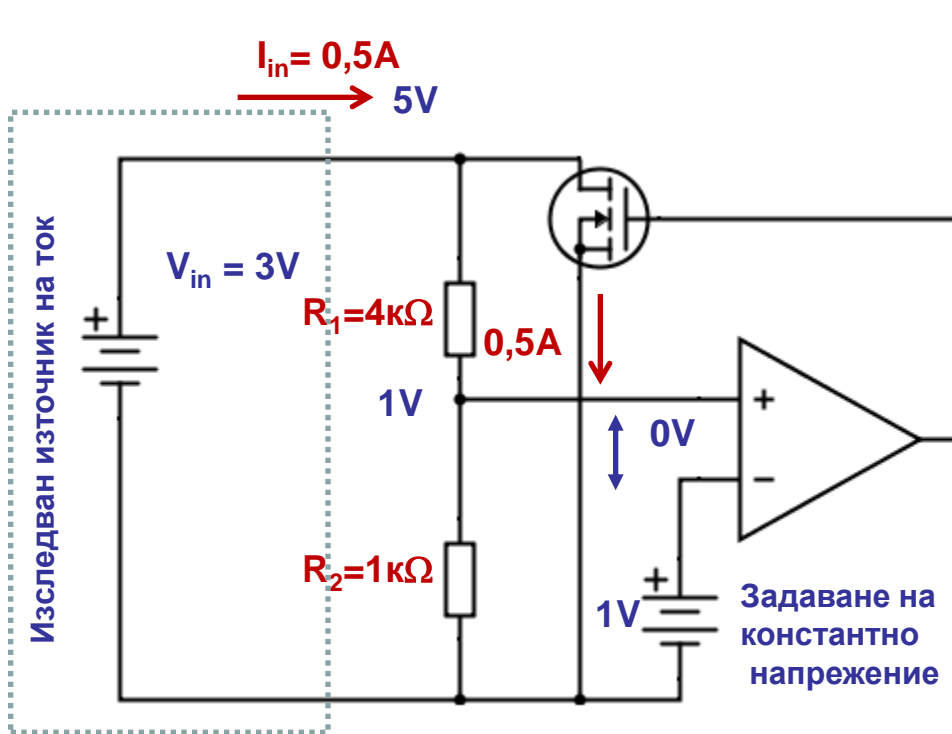
Режимът CC се използва за тестване на източници на напрежение и определяне на зависимостта от товара (load regulation) на хранящите източници.

$$LR = \frac{V_{\max L} - V_{\min L}}{V_{nomL}} 100, \%$$

# Електронни товари

## Режим на константно напрежение (constant voltage - CV)

В този режим електронният товар ще черпи достатъчен ток (ако е възможно), така че напрежението му на входа да е равно на програмираната стойност.

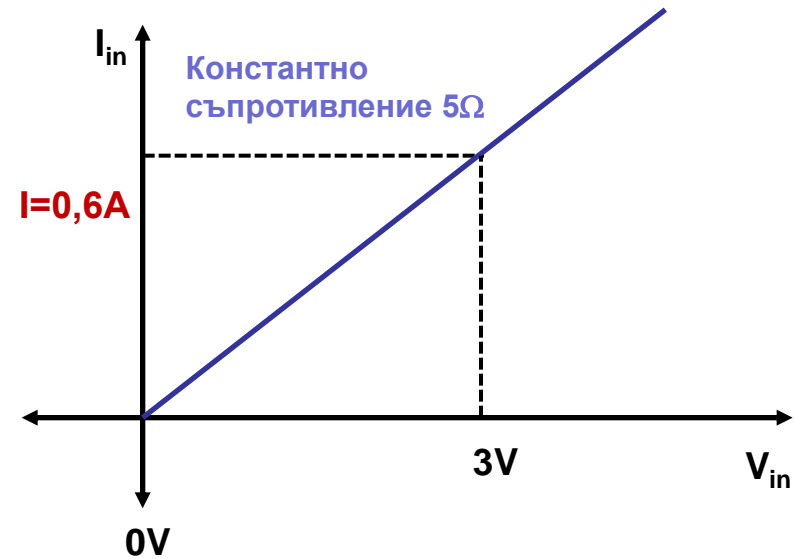
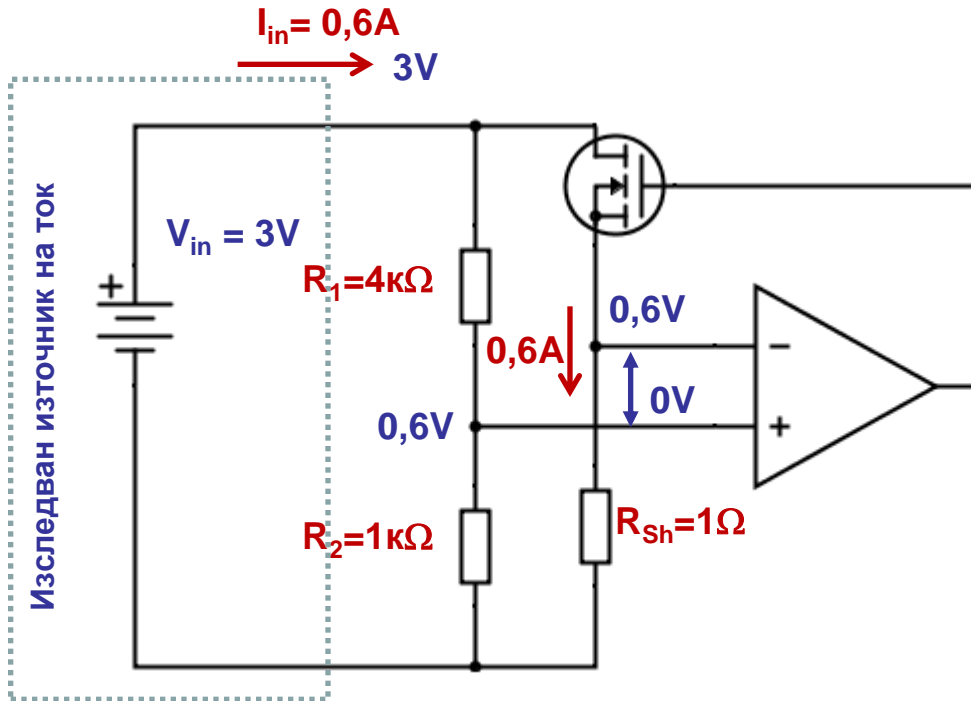


Режимът CV се използва за тестване на източници на ток. Тества се ограничаващия ток при захранващите източници. Използва се и за изследване на зарядни устройства, като електронният товар симулира батерия.

# Електронни товари

## Режим на константно съпротивление (constant resistance - CR)

В този режим операционният усилвател сравнява входното напрежение и входния ток, така че отношението им винаги да е константа.



Режимът CR се използва за тестване на както на източници на ток, така и на източници на напрежение. Най-често се изследва времето за включване на захранващи източници и ограничението им по ток.



# Електронни товари



ARRAY Model 3710A  
Input Voltage: 0~360VDC  
Input Current: 0~30A  
Input Power: 0~150W  
Ripple: Max. 10mVpp

Constant current/ resistance/ power mode

Over voltage/ over current/ over power/ over temperature/ reversed polarity protection

RS232/RS485/USB available with optional adapters

Number of Input 1

Voltage Accuracy 0.000-3.999V:  $\pm 0.2\%+3\text{mV}$  4.00-35.999V  $\pm 0.2\%+30\text{mV}$  36.0-360.0V:  $\pm 0.2\%+300\text{mV}$

Current Accuracy 0.000-2.999A:  $\pm 0.2\%+3\text{mA}$  3.00-30.00:  $\pm 0.2\%+30\text{mA}$

Min Resolution Voltage: 1mV Current: 1mA

Minimum Conductive Resistance  $< 0.08 \Omega$