

# Cvičení 6: Parametry a aplikace diod

---

## **C6.1: Aplikace diody v jednopulzním usměrňovači**

Princip činnosti, význam jednotlivých obvodových prvků

Příklady **CP6.1** a **CP6.2**

## **C6.2: Voltampérové charakteristiky diod**

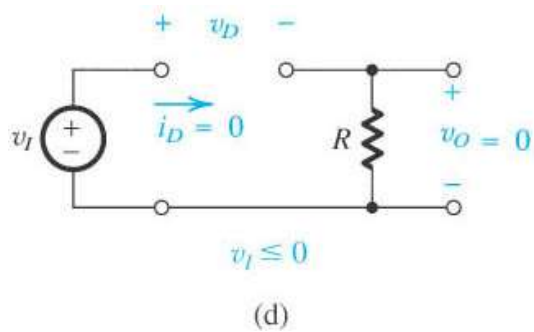
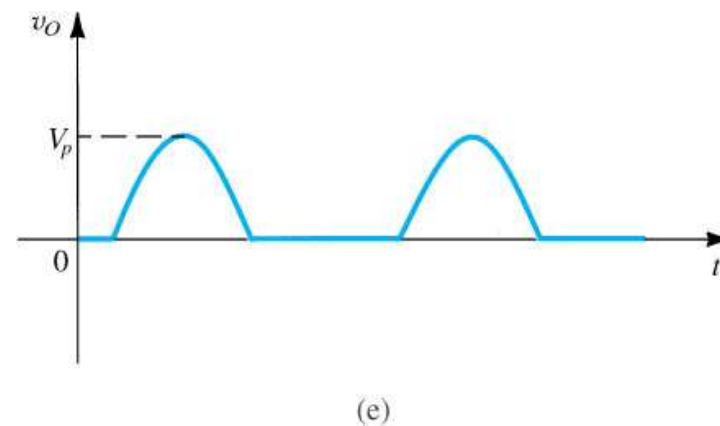
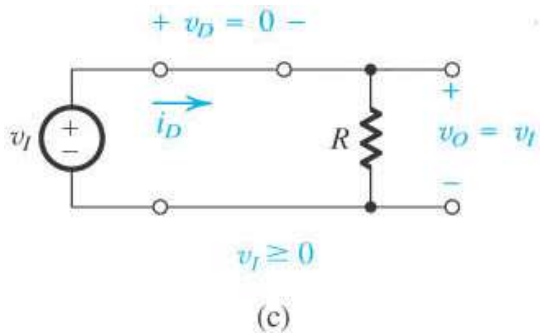
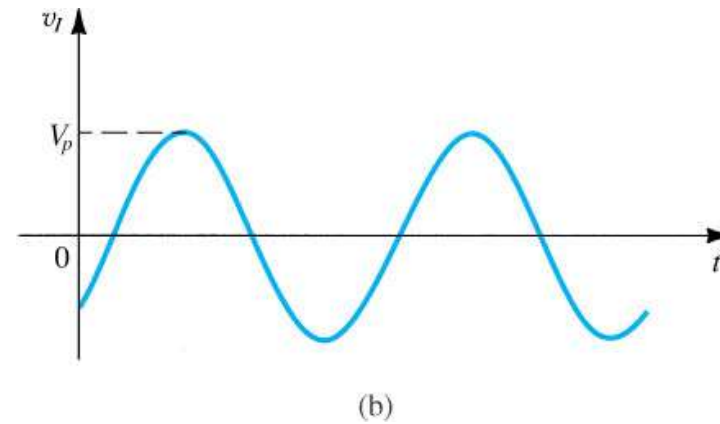
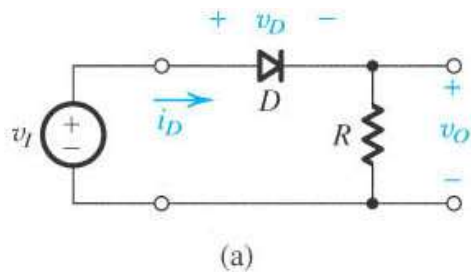
Měření propustných charakteristik různých typů polovodičových diod **M6.1**

## **C6.3: Dynamické vlastnosti diody**

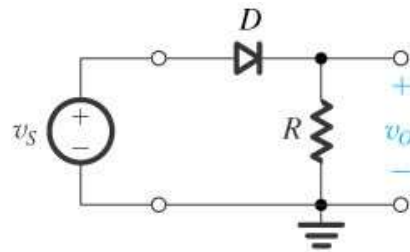
Měření a simulace doby závěrného zotavení **M6.2** a **S6.1**

Měření a simulace průběhů proudu a napětí v jednopulzním usměrňovači využívajícím diodu s PN přechodem a Schottkyho diodu **M6.3** a **S6.2** a **S6.3**

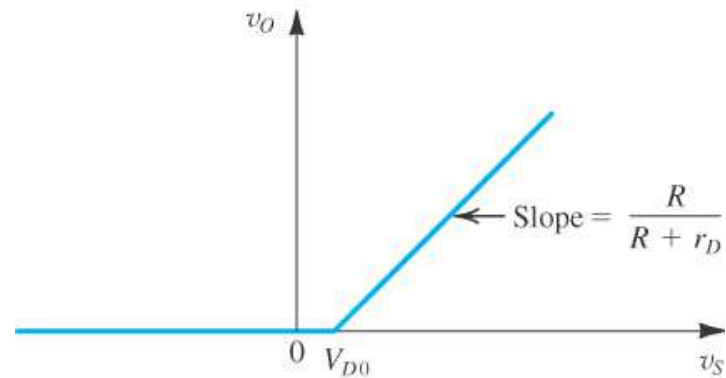
## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač



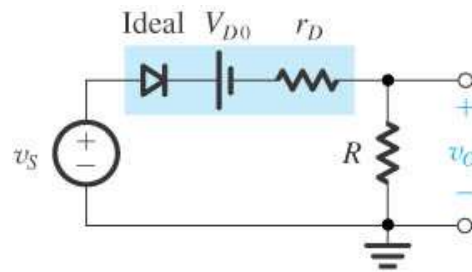
# C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač



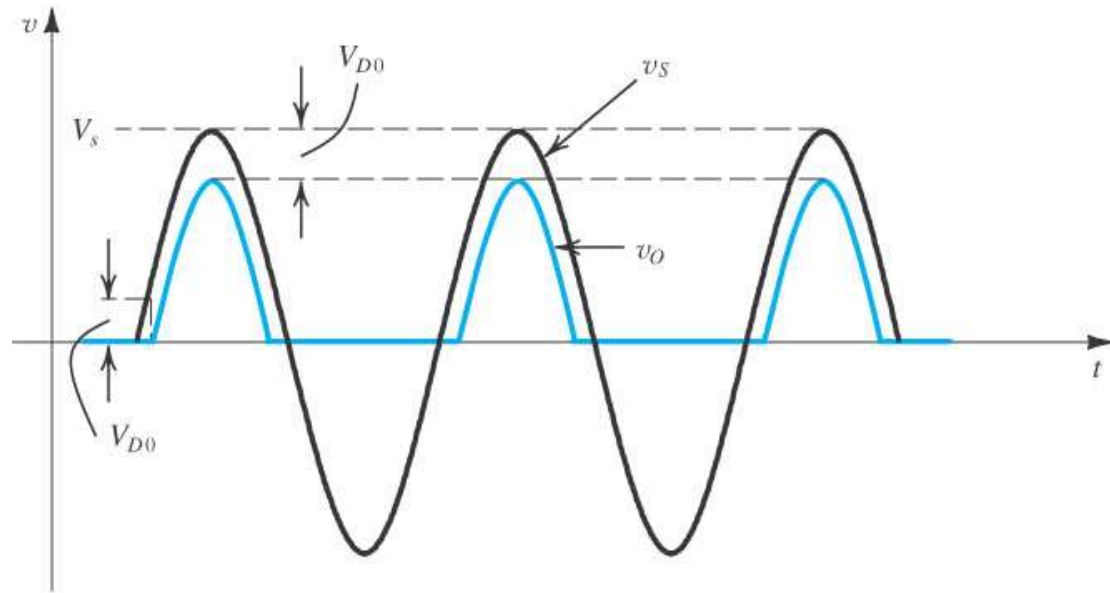
(a)



(c)



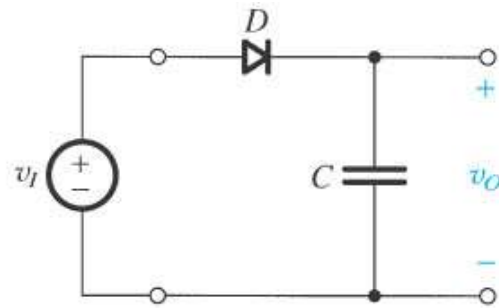
(b)



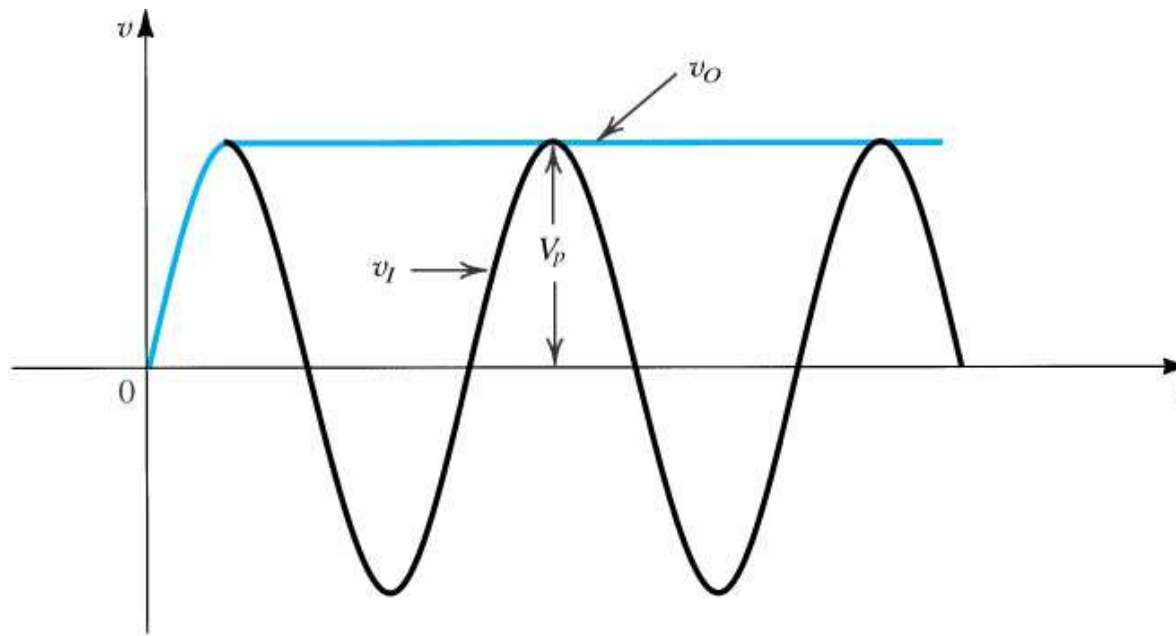
(d)

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

---

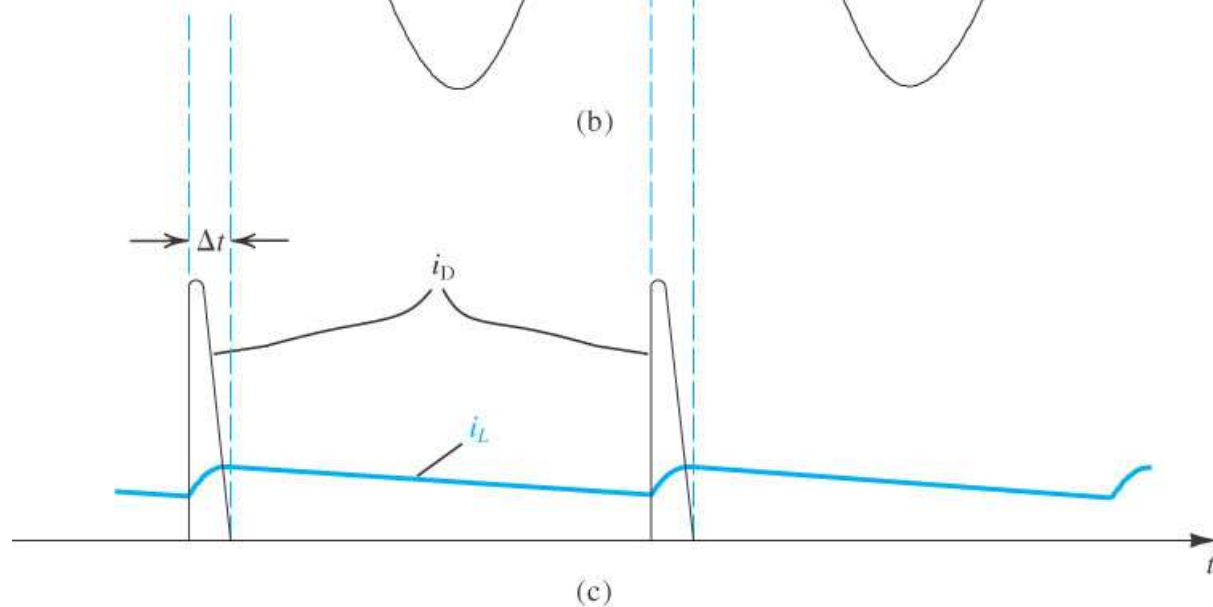
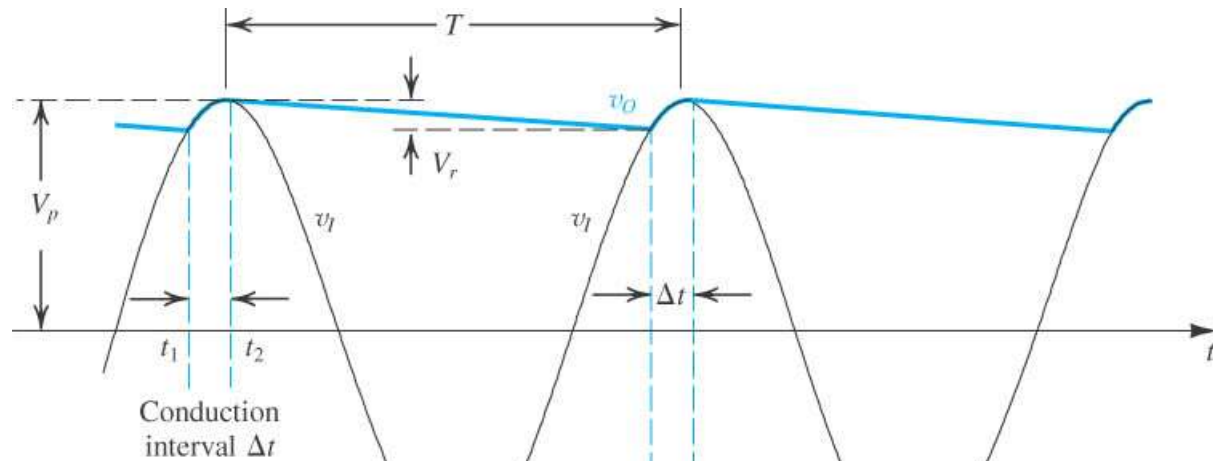
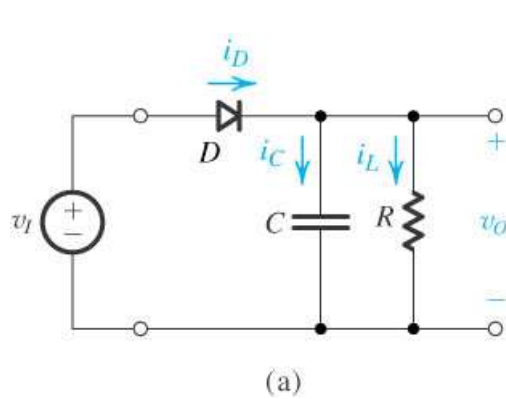


(a)



(b)

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

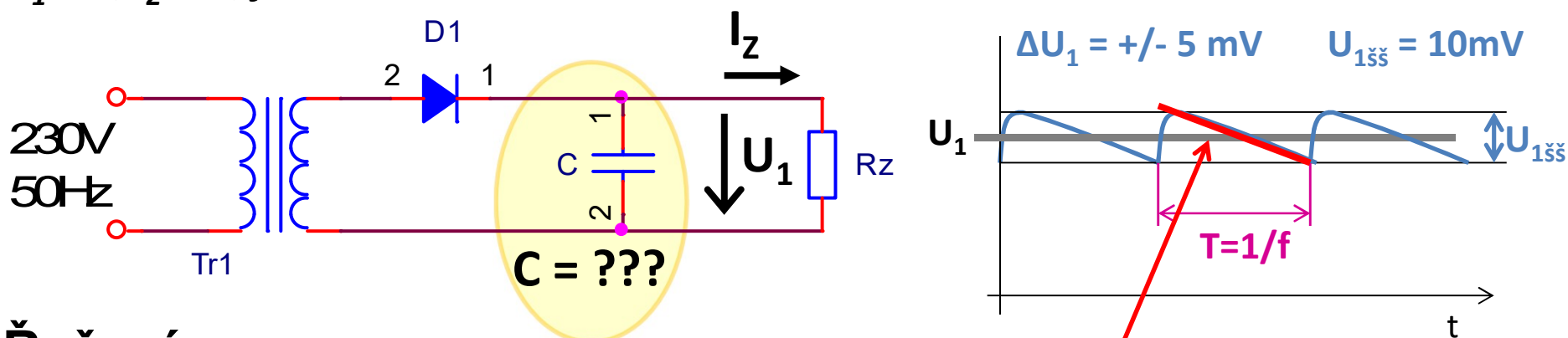


## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

### Příklad CP6.1:

Vypočtěte hodnotu kapacity filtru pro jednocestný usměrňovač tak, aby zvlnění výstupního napětí  $\Delta U_1$  nepřesáhlo  $\pm 5\text{mV}$ .

$U_1=5\text{V}$ ,  $I_Z=1\text{A}$ ,  $f=50\text{Hz}$ .



### Řešení:

Řešení spočívá v nalezení hodnoty kapacity, na které nedojde k poklesu napětí většímu než  $U_{1\text{řř}}$  při vybíjení proudem  $I_Z$  po dobu blíží se jedné periodě  $T$ .

Vyjdeme ze vztahu mezi napětím a nábojem  $Q=C \cdot U$ .

Mezi nábojem na dané kapacitě a proudem platí vztah:

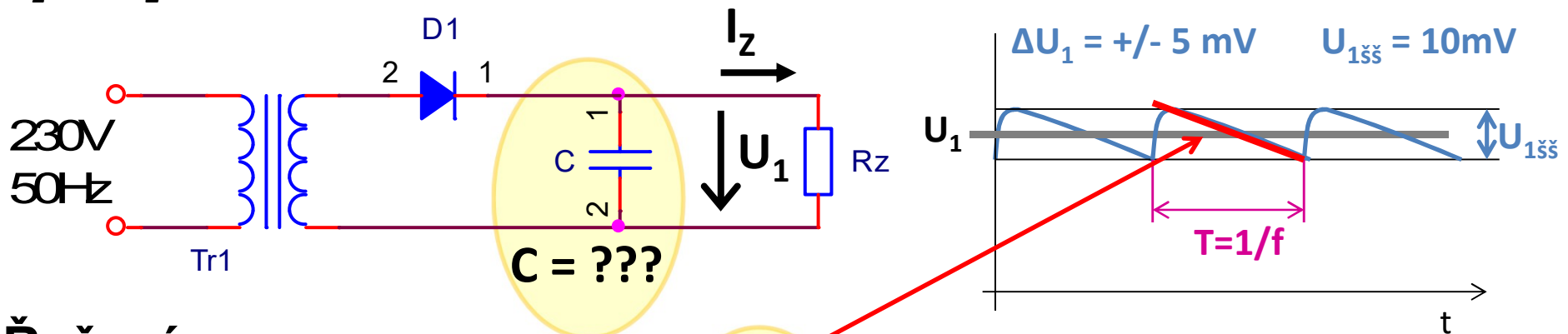
$$I = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

### Příklad CP6.1:

Vypočtete hodnotu kapacity filtru pro jednocestný usměrňovač tak, aby zvlnění výstupního napětí  $\Delta U_1$  nepřesáhlo  $\pm 5\text{mV}$ .

$U_1=5\text{V}$ ,  $I_Z=1\text{A}$ ,  $f=50\text{Hz}$ .



Řešení:

$$I = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

$$C \approx \frac{I_Z \cdot T}{U_{1ss}} = \frac{I_Z}{U_{1ss} \cdot f} = \frac{U_1}{R_Z \cdot U_{1ss} \cdot f}$$

$$C \approx \frac{I_Z}{U_{1ss} \cdot f} = \frac{1}{0,01 \cdot 50} = 2 \text{ F}$$

**NEPŘIJATELNÉ !!!**

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

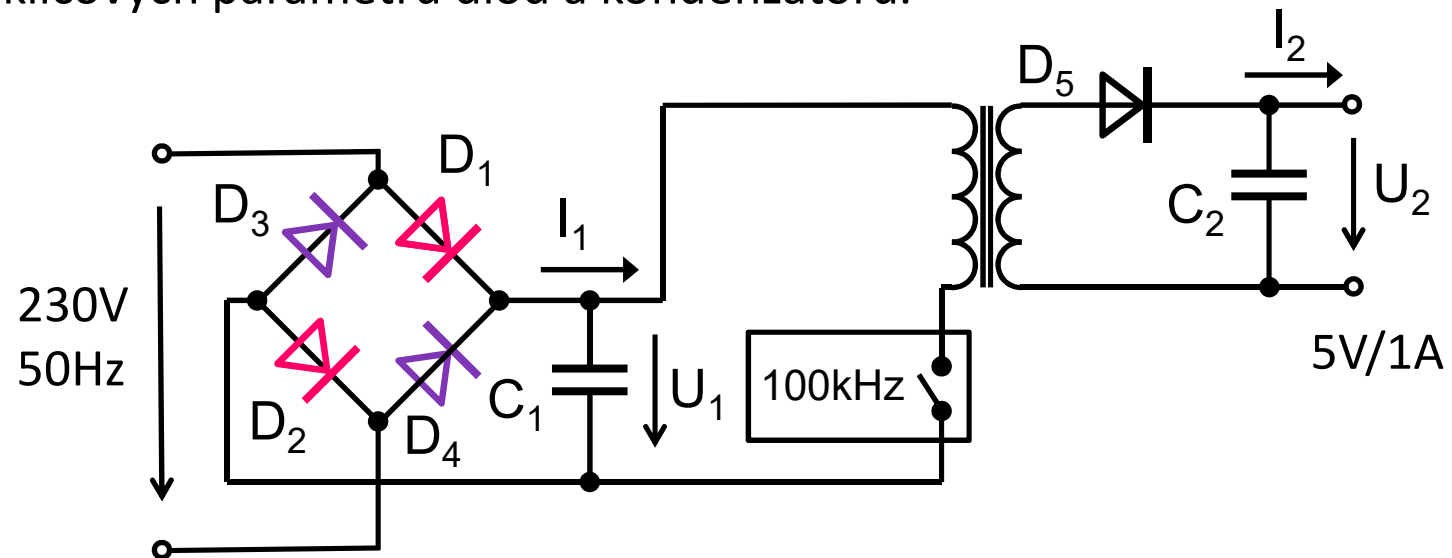
### Příklad CP6.2:

Vypočtěte hodnoty kapacit filtrů  $C_1$  a  $C_2$  tak, aby zvlnění napětí

$\Delta U_1$  nepřesáhlo  $\pm 50\text{V}$  při  $I_1=30\text{mA}$

$\Delta U_2$  nepřesáhlo  $\pm 5\text{mV}$  při  $I_2=1\text{A}$

Určete hodnoty klíčových parametrů diod a kondenzátorů.



### Řešení:

Jedná se o zjednodušené zapojení flyback měniče.

$C_1$  je filtr můstkového usměrňovače, kde doba vybíjení se blíží  $T/2$

$C_2$  je filtr jednocestného usměrňovače (obdobně jako v CP6.1)



## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

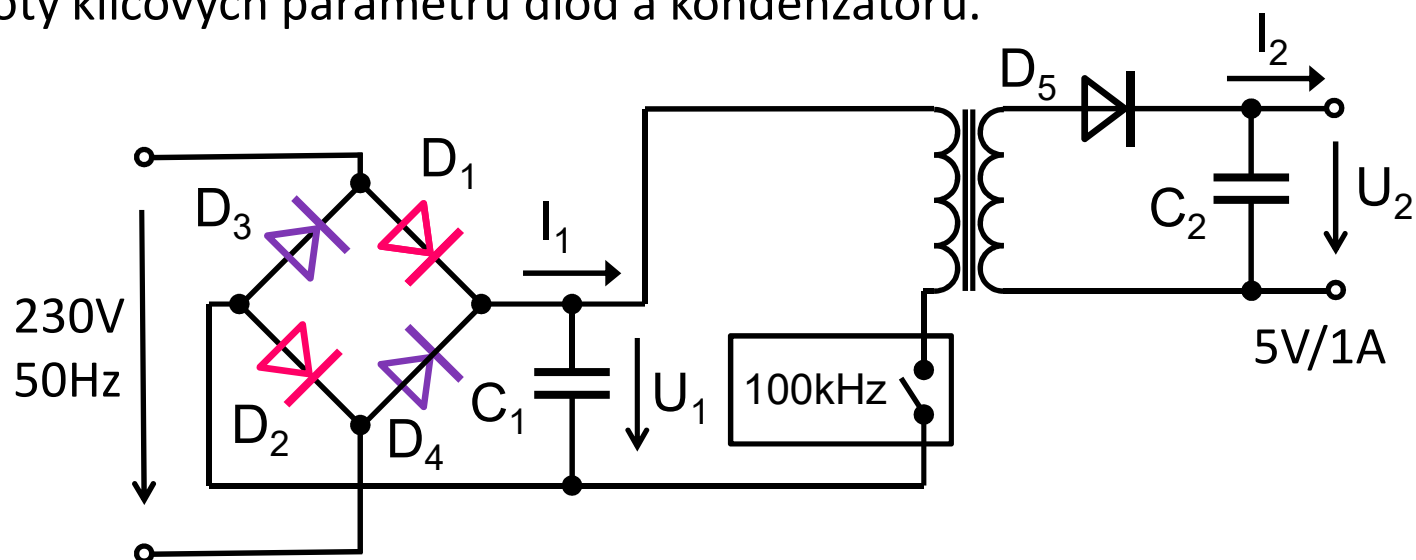
### Příklad CP6.2:

Vypočtěte hodnoty kapacit filtrů  $C_1$  a  $C_2$  tak, aby zvlnění napětí

$\Delta U_1$  nepřesáhlo  $\pm 50\text{V}$  při  $I_1=30\text{mA}$

$\Delta U_2$  nepřesáhlo  $\pm 5\text{mV}$  při  $I_2=1\text{A}$

Určete hodnoty klíčových parametrů diod a kondenzátorů.



**Řešení:**

$$C_1 \approx \frac{I_1}{U_{1\text{řř}} \cdot 2f} = \frac{0,03}{100 \cdot 2 \cdot 50} = 3 \text{ uF}$$

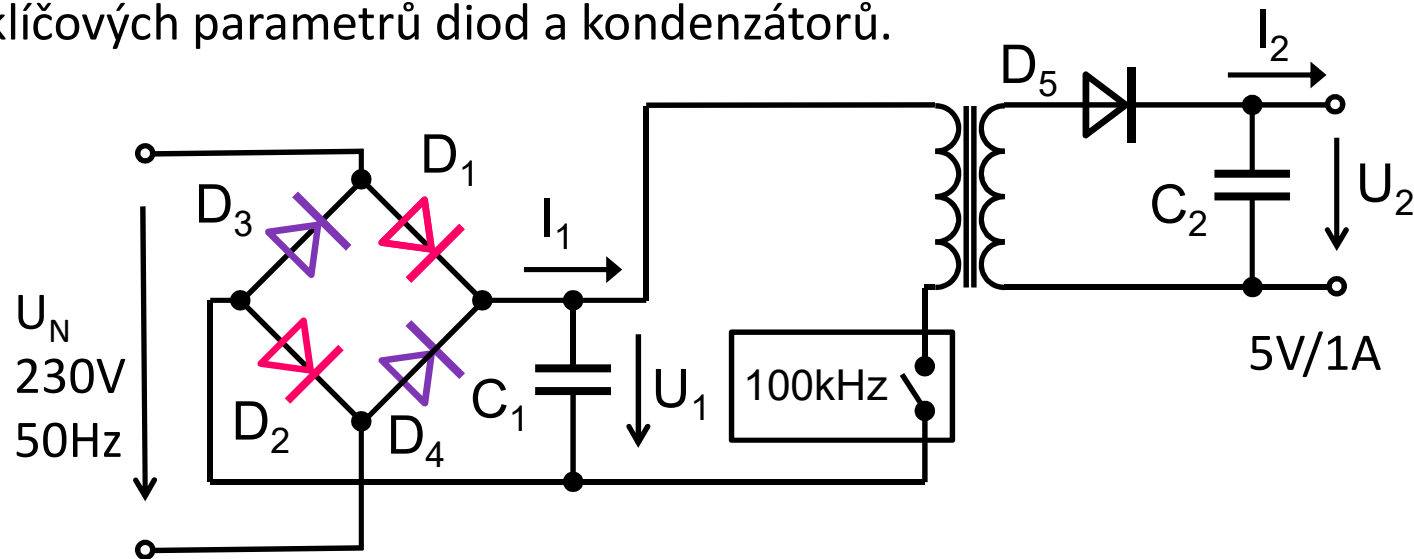
$$C_2 \approx \frac{I_2}{U_{2\text{řř}} \cdot f} = \frac{1}{10\text{m} \cdot 100\text{k}} = 1 \text{ mF}$$

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

### Příklad CP6.2:

(pokračování)

Určete hodnoty klíčových parametrů diod a kondenzátorů.



**Řešení:**

**Diody  $D_1..D_4$ :**

Max. opakovatelné závěrné napětí  $U_{RRM} > U_{NMAX}$

$$U_{RRM} > 230 * \sqrt{2} = 325 \text{ V}$$

Max. střední hodnota propustného proudu  $I_{FAV}$

$$I_{FAV} > \frac{I_1}{2} = \frac{0,03}{2} = 15 \text{ mA}$$

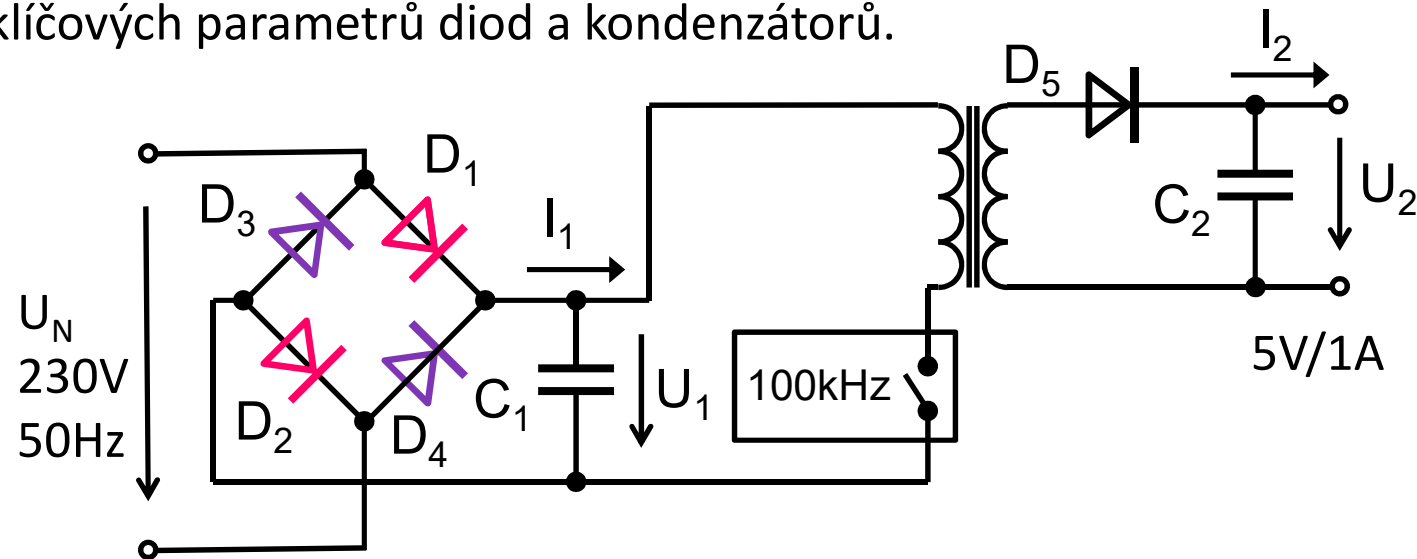
$f = 50\text{Hz} \Rightarrow T = 20\text{ms} \gg trr \text{ (max. } 20\mu\text{s)} \Rightarrow \text{“General Purpose Diode”}$

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

### Příklad CP6.2:

(pokračování)

Určete hodnoty klíčových parametrů diod a kondenzátorů.



**Řešení:**

**Dioda  $D_5$ :**

Max. opakovatelné závěrné napětí  $U_{RRM} > 2 * U_2$

$$U_{RRM} > 2 * 5 = 10 \text{ V}$$

Max. střední hodnota propustného proudu  $I_{FAV}$

$$I_{FAV} > I_2 = 1 \text{ A}$$

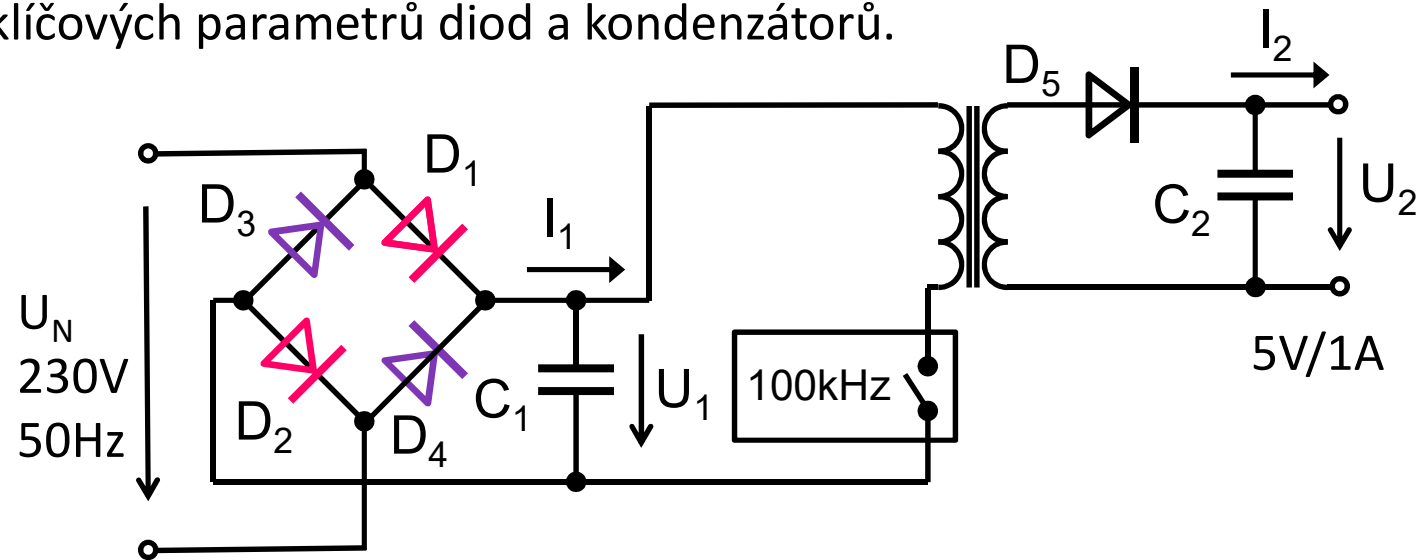
$f = 100\text{kHz} \Rightarrow T = 10\mu\text{s} \gg trr \text{ (max. 10ns)} \Rightarrow \text{"Fast Recovery" nebo Schottky Diode}$

## C6.1 Aplikace diod - Usměrňovač

### Příklad CP6.2:

(pokračování)

Určete hodnoty klíčových parametrů diod a kondenzátorů.



**Řešení:**

**Kondenzátory:**

$C_1$  - jmenovité napětí  $U_R > U_{NMAX}$

$$U_R > 230 * \sqrt{2} = 325 \text{ V}$$

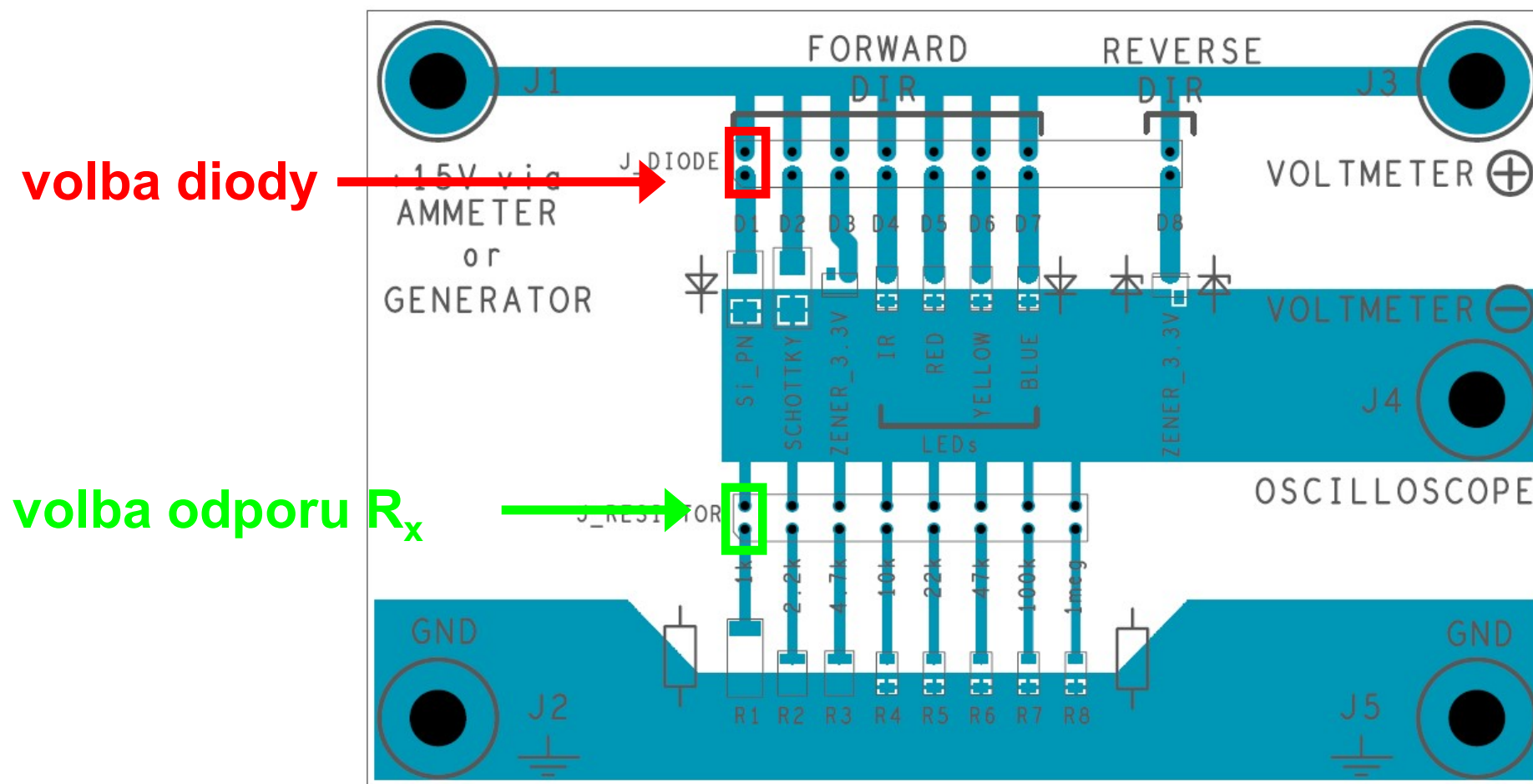
$C_2$  - jmenovité napětí  $U_R > U_2$

$$U_R > 5 \text{ V}$$

*Zvolíme například  $C_1$  - 4,7uF/400V a  $C_2$  - 2,2mF/10V*

## C6.2 Volt - ampérové charakteristiky diod

Měřicí přípravek pro měření propustných VA charakteristik diod



## C6.2 Volt - ampérové charakteristiky diod

---

### M6.1: Měření propustných VA charakteristik diod

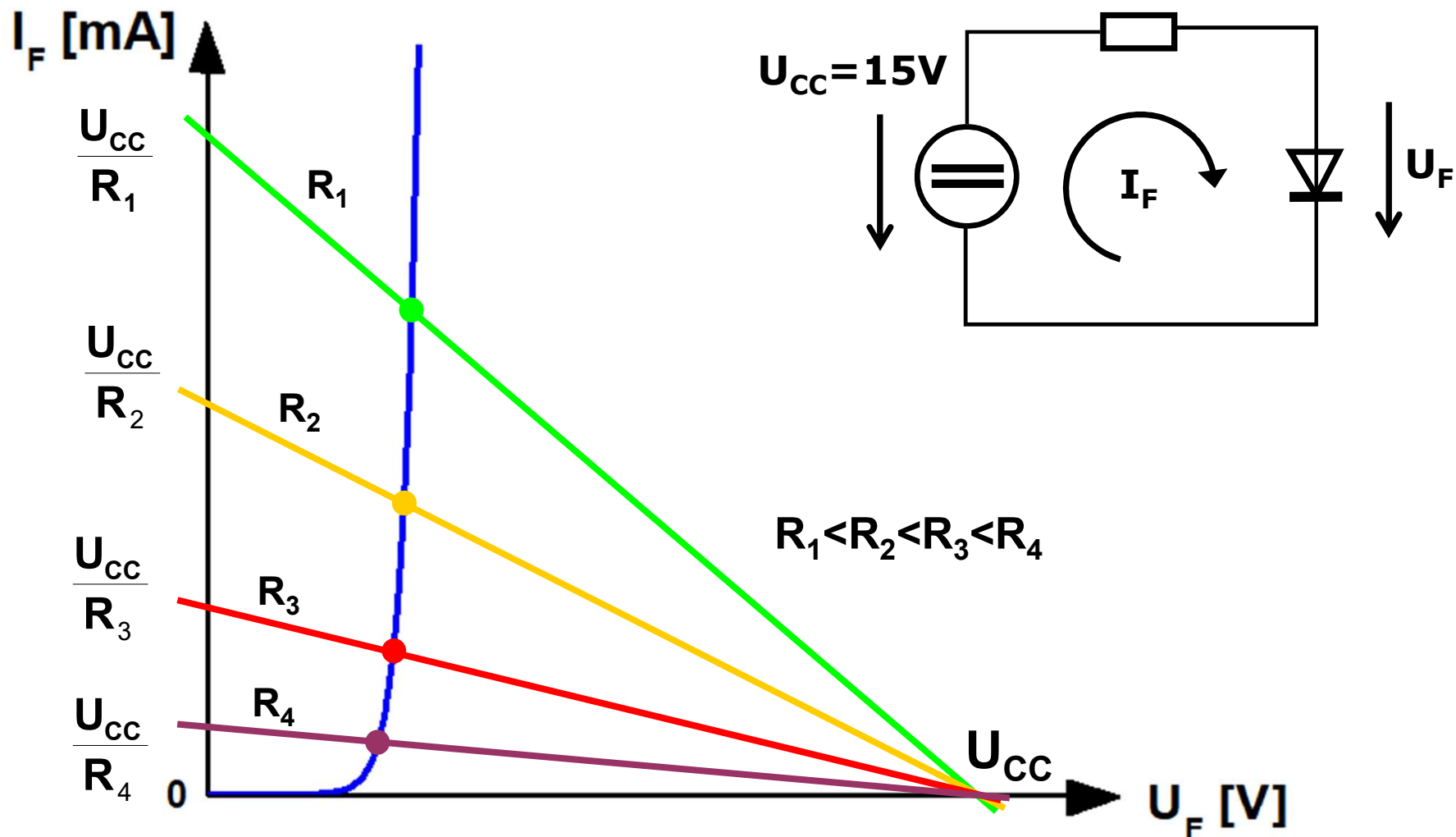
**Cíl: Změřit propustné VA charakteristiky různých typů polovodičových diod a vykreslit grafy jejich charakteristik v Excelu (list UF)**

MEZNÍ PARAMETRY					
TYP	$I_{FAV}$ (mA)	$I_{FSM}$ (A)	$U_{RRM}$ (V)	$U_{RSM}$ (V)	Poznámka
1N4007	1000	40	1000		Křemíková usměrňovací dioda s pn přechodem.
10BQ040	1000	430	40	40	Schottkyho usměrňovací dioda
ZD 3V3					Zenerova dioda 3.3 V
LED –IR	65		5		Infračervená GaAlAs svítivka
LED – RED	30	0.185	5		Červená InGaAlP svítivka
LED – YELLOW	30	0.175	5		Žlutá InGaAlP svítivka
LED - BLUE	30	0.150	5		Modrá svítivka GaN na SiC

## C6.2 Volt - ampérové charakteristiky diod

### M6.1: Měření propustných VA charakteristik diod

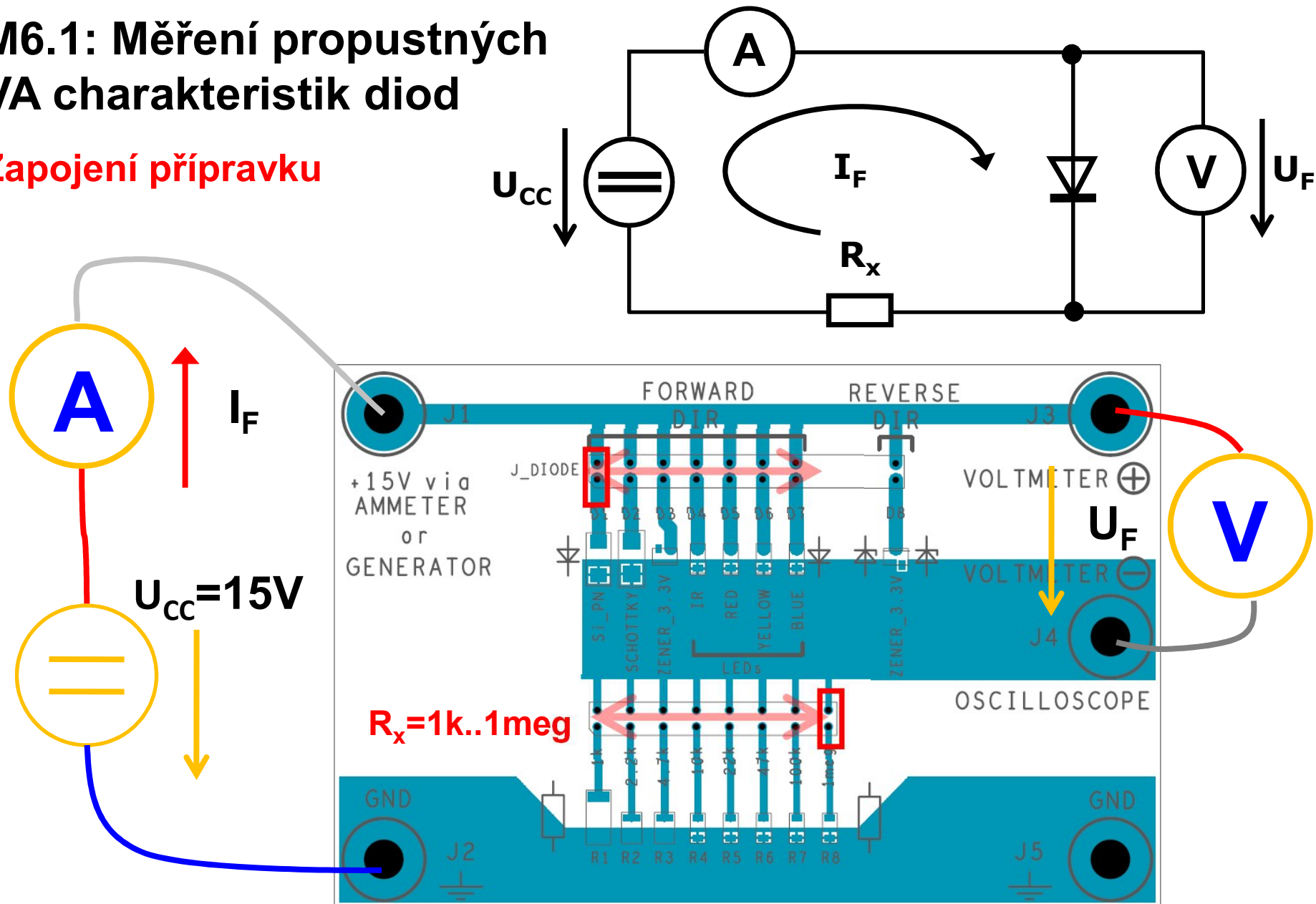
#### Princip měření



## C6.2 Volt - ampérové charakteristiky diod

### M6.1: Měření propustných VA charakteristik diod

Zapojení přípravku





# C6.2 Volt - ampérové charakteristiky diod

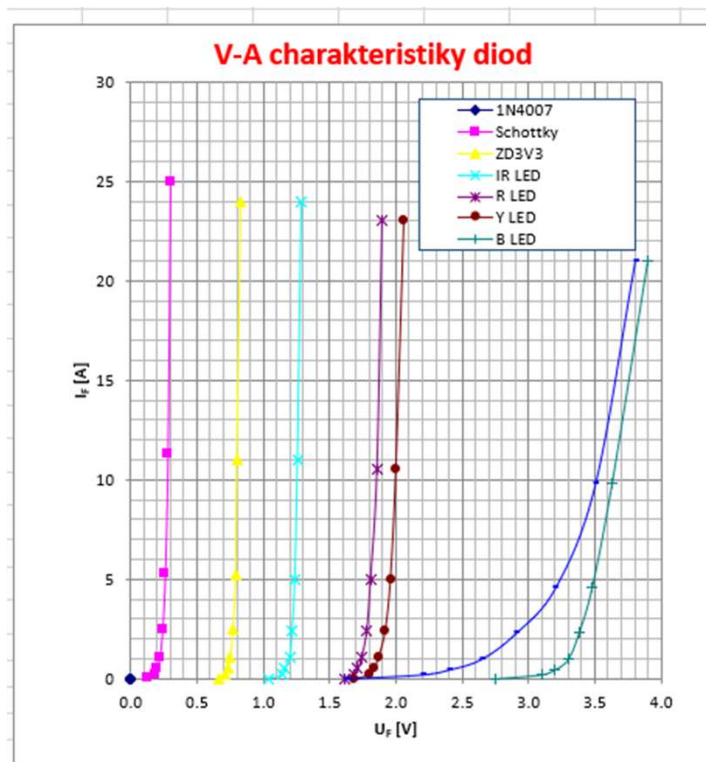
## M6.1: Měření propustných VA charakteristik diod

### Zpracování výsledků – list UF

Zvolit diodu

Doplnit naměřené souřadnice  
 $U_F$  a  $I_F$  pracovních bodů

Přepínat postupně odpory  $R_x$



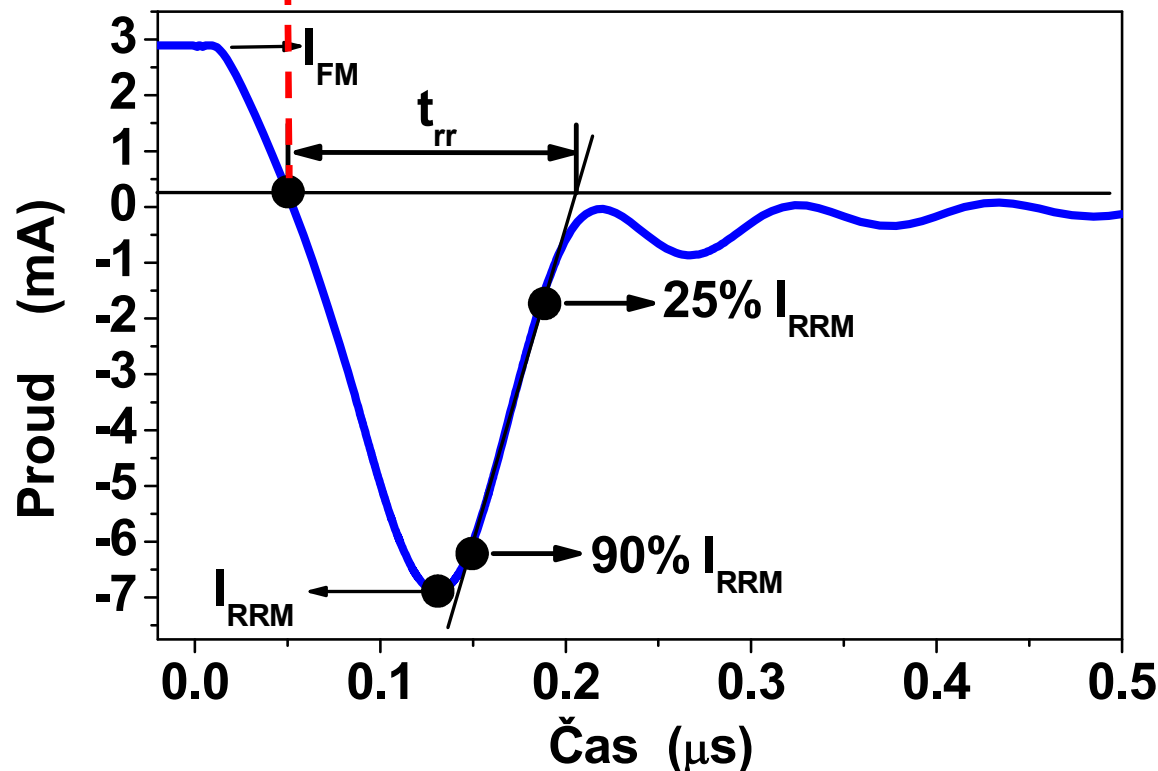
	R1 [Ω]	1M	100k	47k	22k	10k	4.7k	2.2k	1k
1N4007	$U_F$ [V]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	$I_F$ [mA]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Schottky	$U_F$ [V]	0.120	0.180	0.200	0.220	0.240	0.260	0.280	0.300
	$I_F$ [mA]	0.027	0.250	0.530	1.100	2.500	5.300	11.300	25.000
ZD3V3	$U_F$ [V]	0.660	0.710	0.730	0.750	0.770	0.790	0.800	0.830
	$I_F$ [mA]	0.026	0.250	0.520	1.100	2.500	5.200	11.000	24.000
IR LED	$U_F$ [V]	1.040	1.140	1.160	1.200	1.220	1.240	1.260	1.290
	$I_F$ [mA]	0.026	0.240	0.500	1.100	2.400	5.000	11.000	24.000
R LED	$U_F$ [V]	1.610	1.680	1.710	1.740	1.780	1.810	1.860	1.900
	$I_F$ [mA]	0.025	0.240	0.500	1.100	2.400	5.000	10.500	23.000
Y LED	$U_F$ [V]	1.690	1.800	1.840	1.870	1.920	1.960	2.000	2.060
	$I_F$ [mA]	0.025	0.230	0.500	1.100	2.400	5.000	10.500	23.000
B LED	$U_F$ [V]	2.750	3.100	3.200	3.300	3.380	3.480	3.630	3.900
	$I_F$ [mA]	0.024	0.230	0.480	1.000	2.300	4.600	9.800	21.000
ZD3V3	$U_R$ [V]	1.620	2.200	2.400	2.640	2.900	3.200	3.500	3.800
	$I_R$ [mA]	0.024	0.230	0.480	1.000	2.300	4.600	9.800	21.000

## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### Doba závěrného zotavení $t_{RR}$ diody - definice

Doba závěrného zotavení  $t_{RR}$  udává rychlost s jakou je dioda schopna přepnout z propustného do závěrného směru. Závisí na tom, jak je dioda resp. vnějšího obvodu schopna odčerpat z přechodu minoritní nositele injektované při propustné polarizaci.

propustná polarizace → závěrná polarizace



$I_{FM}$  vrcholová hodnota propustného proudu

$I_{RRM}$  vrcholová hodnota proudu při závěrném zotavení

$t_{rr}$  doba závěrného zotavení

$Q_{rr}$  komutační náboj

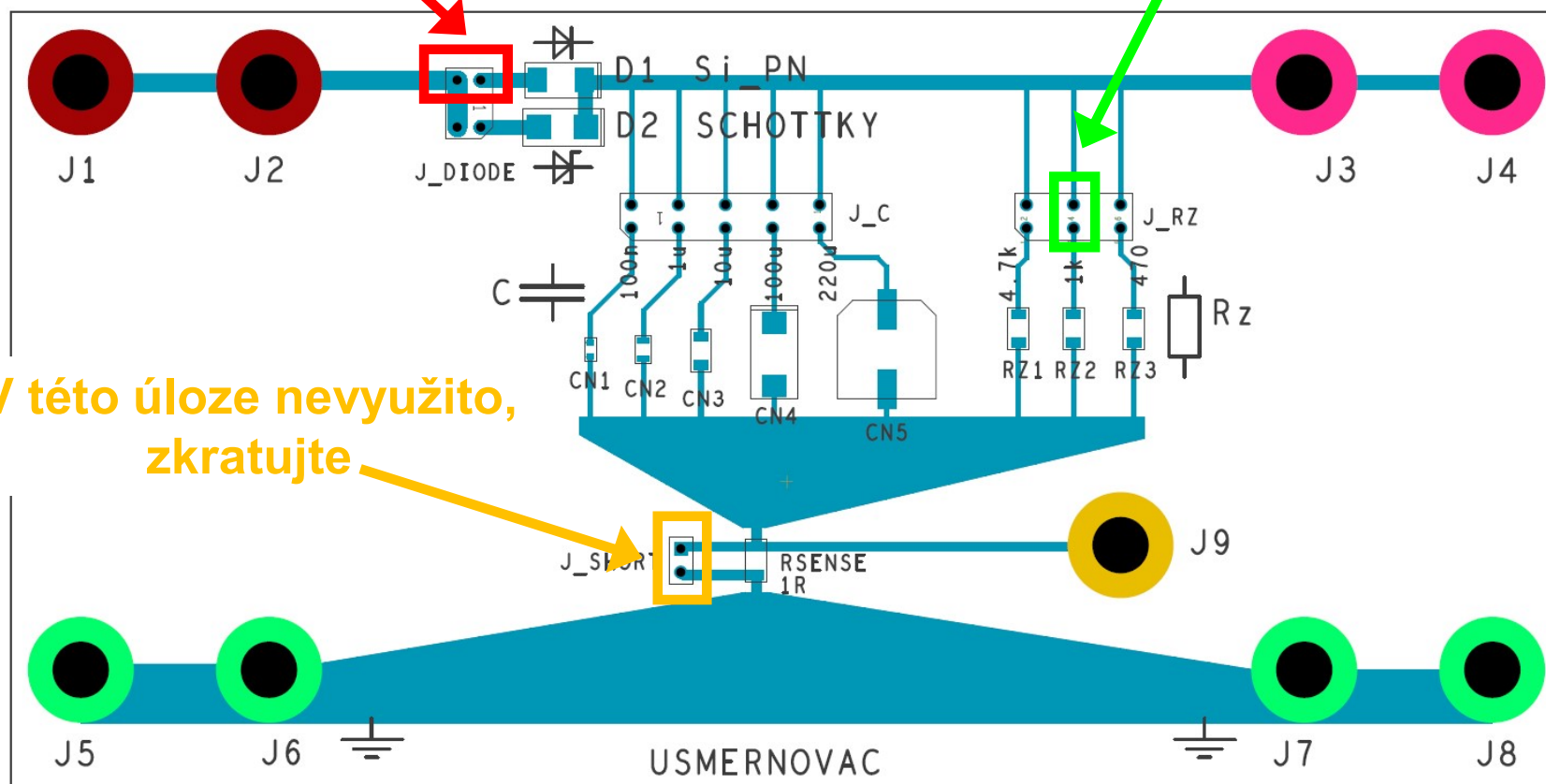
## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### Měřicí přípravek pro měření $t_{RR}$ diody

volba diody

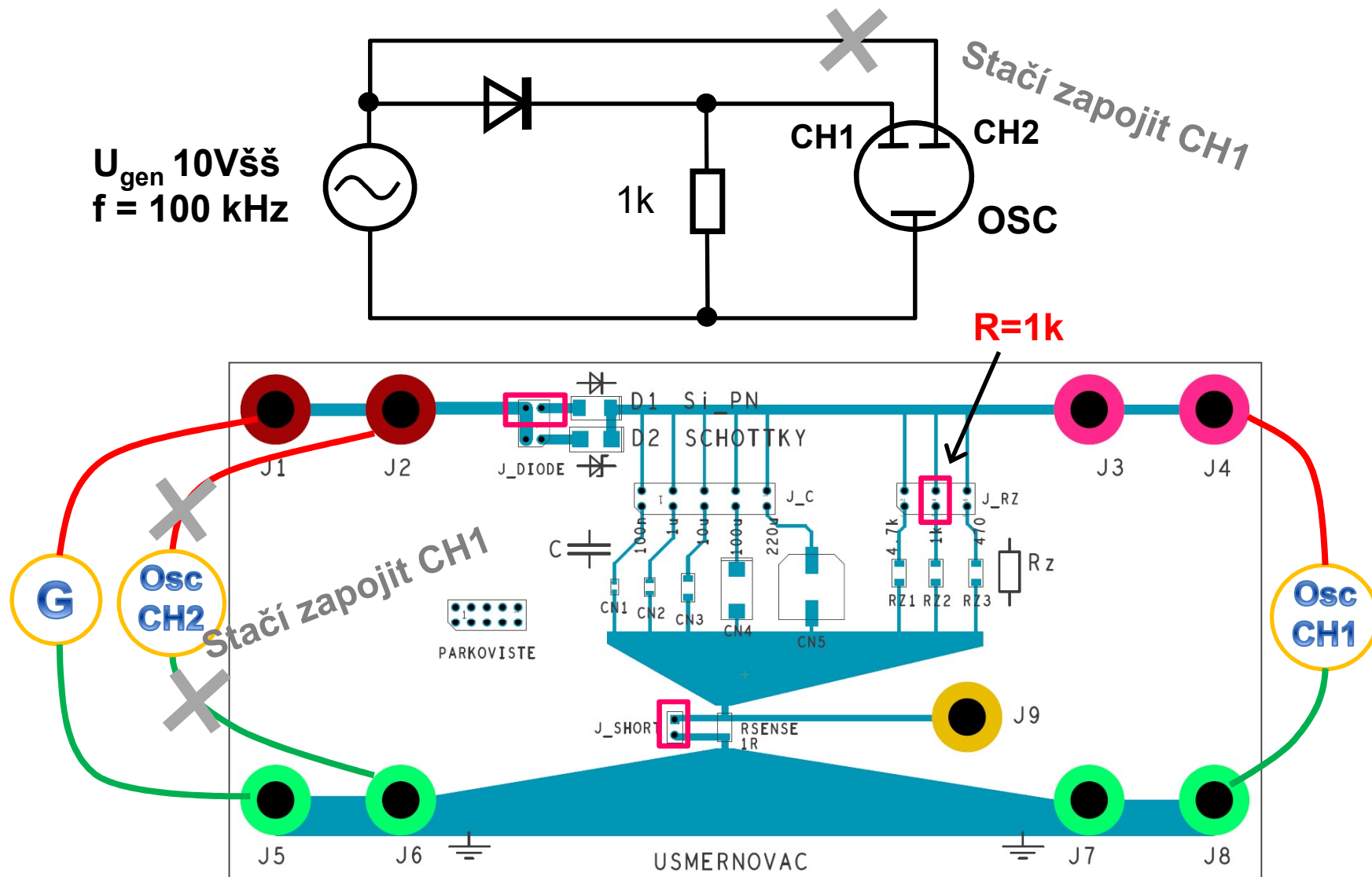
odpor zvolte 1k

V této úloze nevyužito,  
zkratujte



## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### M6.2: Měření doby závěrného zotavení $t_{RR}$ diody

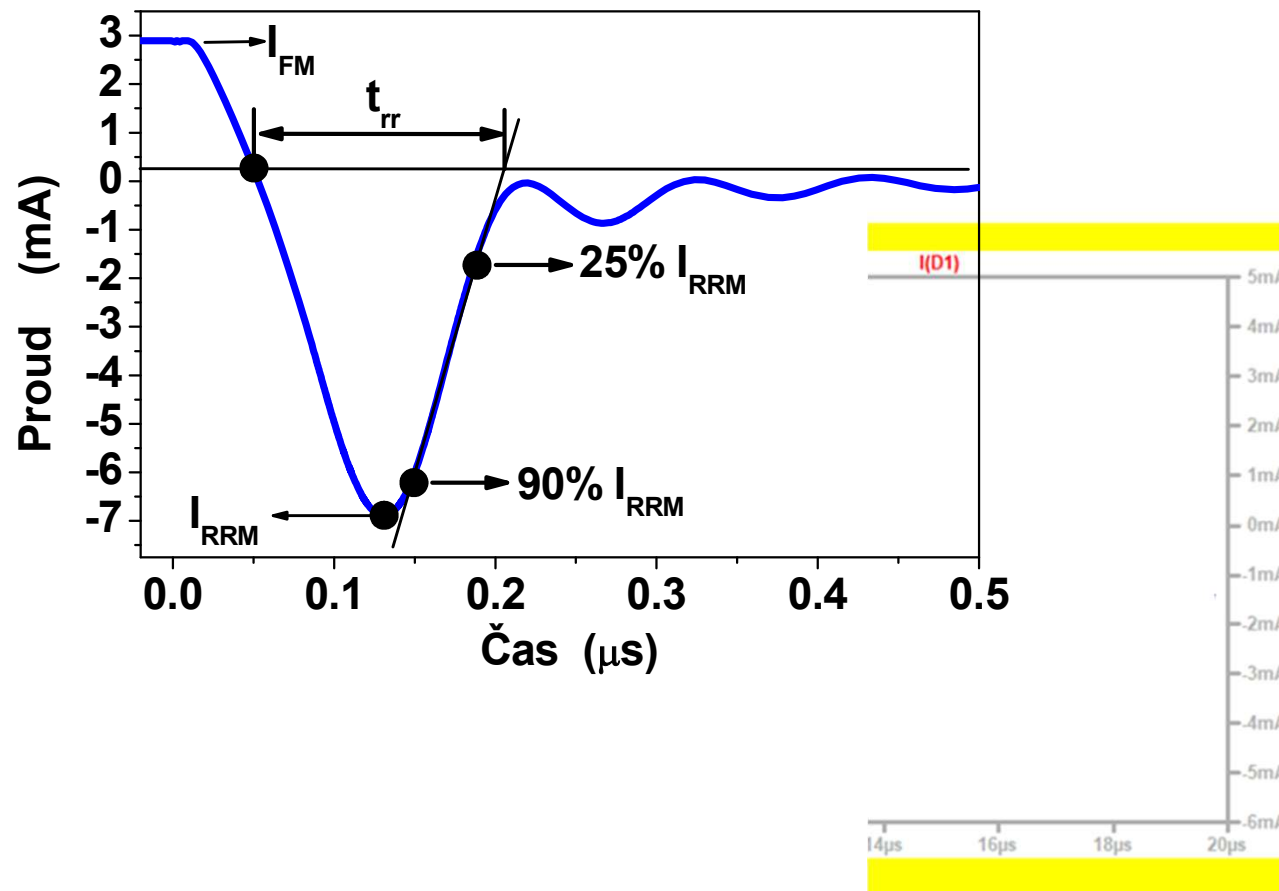


## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### Vyhodnocení M6.2 – $t_{RR}$ diody

EXCEL – karta TRR:

*Doplňte změřené hodnoty z osciloskopu*



Tab.1

Změřená data:	
f [kHz]	100
$I_{FM}$ [mA]	4.0
$t_{rr}$ [μs]	2.0
$I_{RRM}$ [mA]	-4.0

Tab.2

Simulovaná data pro TT=1μs:	
f [kHz]	100.0
$I_{FM}$ [mA]	
$t_{rr}$ [μs]	
$I_{RRM}$ [mA]	

Tab.3

Simulovaná data pro TT=6μs:	
f [kHz]	100.0
$I_{FM}$ [mA]	
$t_{rr}$ [μs]	
$I_{RRM}$ [mA]	

## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.1: Simulace $t_{RR}$ diody

```
.model 1N4007/TRR D(
```

```
+ Is=14.11n
```

```
+ N=1.984
```

```
+ Rs=33.89m
```

```
+ Ikf=94.81
```

```
+ Xti=3
```

```
+ Eg=1.11
```

```
+ Cjo=25.89p
```

```
+ M=.44
```

```
+ Vj=.3245
```

```
+ Fc=.5
```

```
+ Bv=1500
```

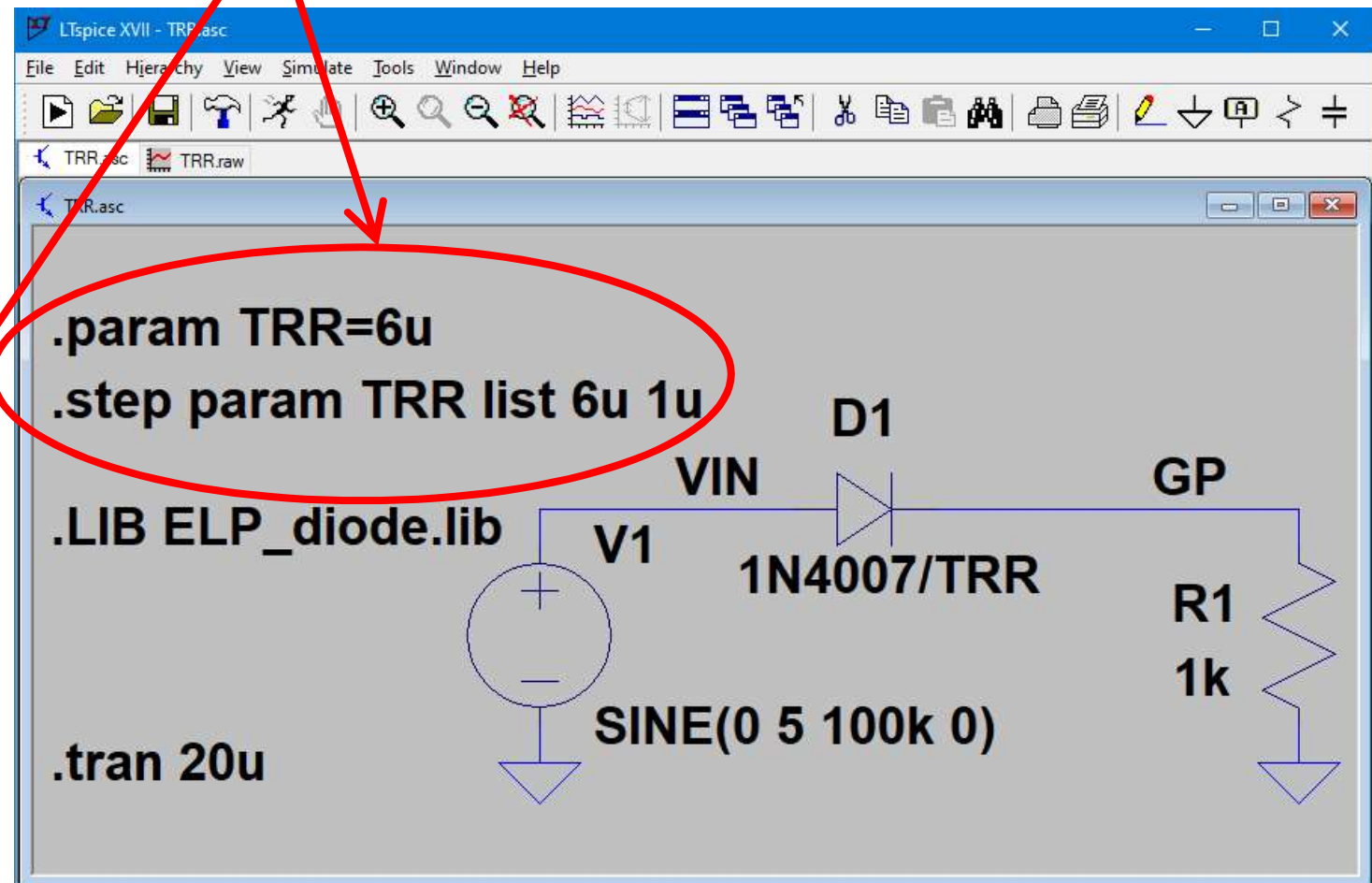
```
+ Ibv=10u
```

```
+ Tt={TRR}
```

```
+ TBV1=0.83m)
```

```
*$
```

**TRR jako nastavitelný parametr**

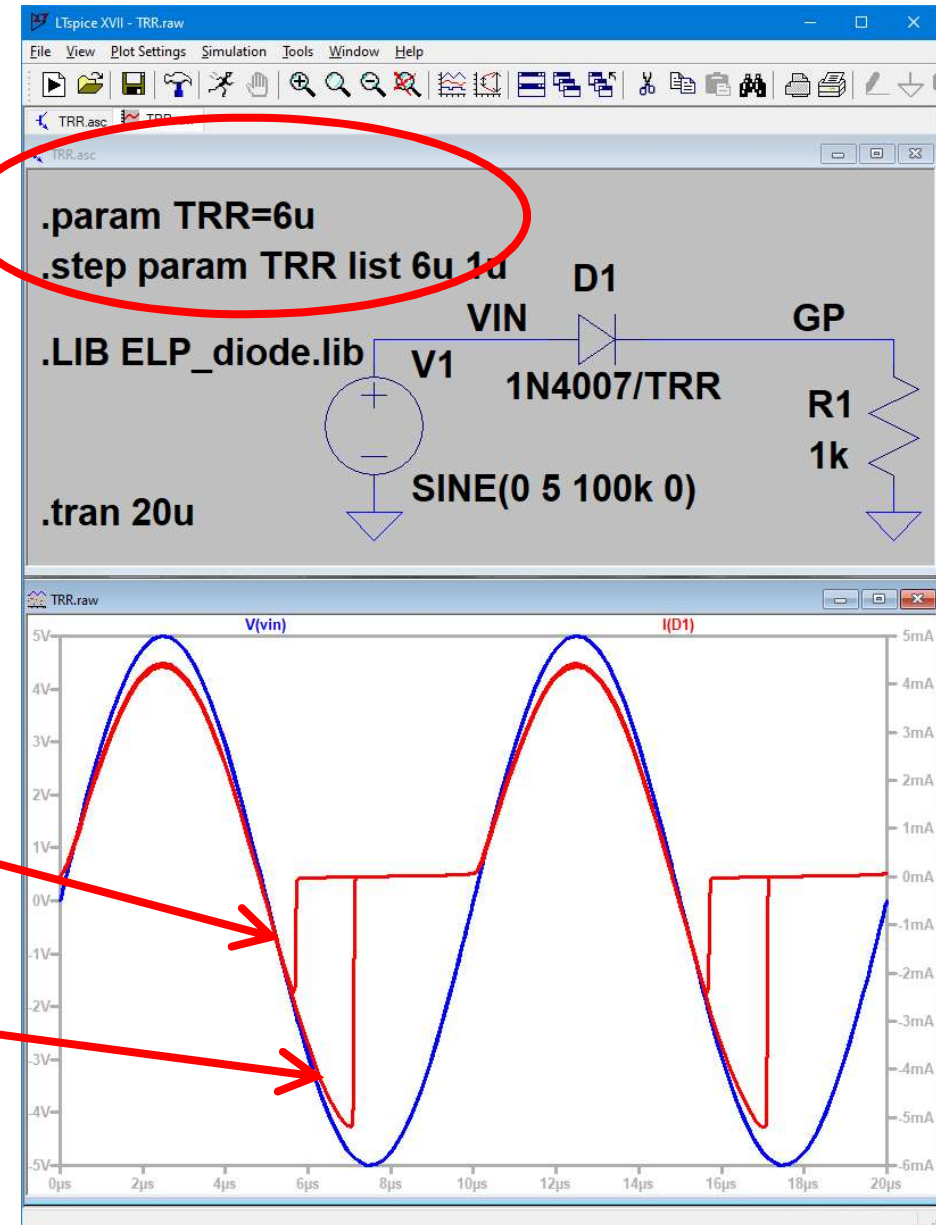




## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.1: Simulace $t_{RR}$ diody

TRR jako nastavitelný parametr

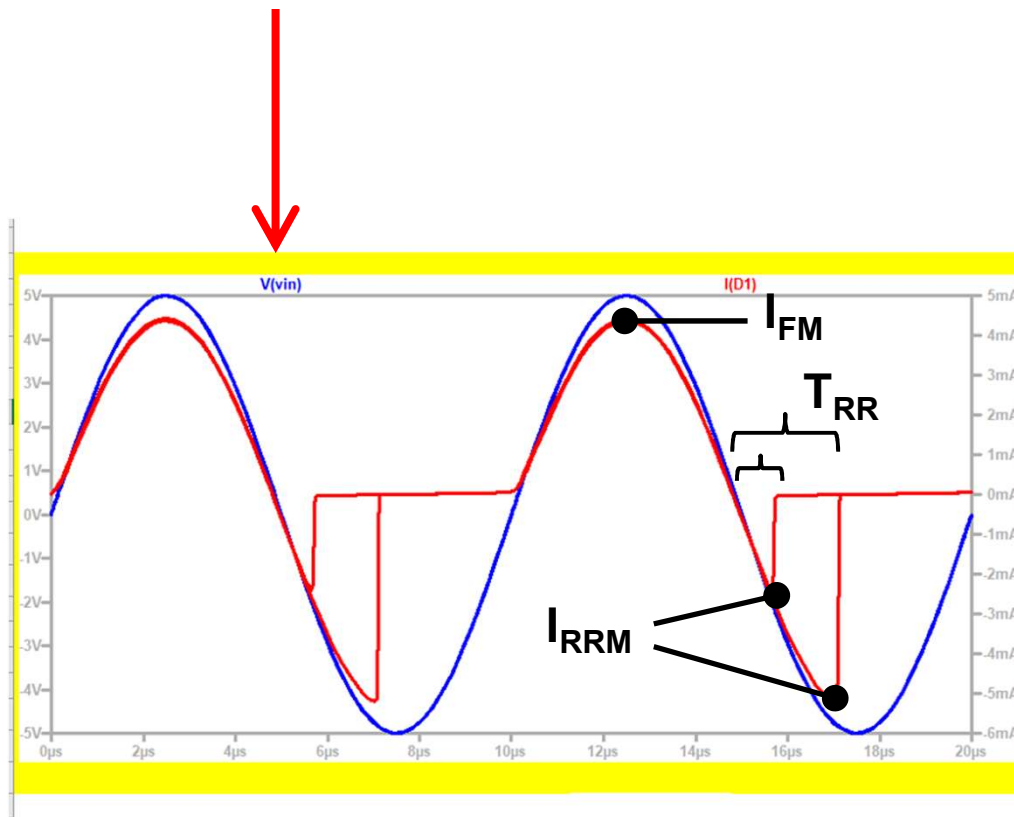


## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### Vyhodnocení S6.1 – $t_{RR}$ diody

EXCEL – karta TRR:

Vložte graf nasimulovaných průběhů



Tab.1

Změřená data:	
f [kHz]	100
$I_{FM}$ [mA]	4.0
$t_{rr}$ [μs]	2.0
$I_{RRM}$ [mA]	-4.0

Tab.2

Simulovaná data pro $T_T=1\mu s$ :	
f [kHz]	100.0
$I_{FM}$ [mA]	4.0
$t_{rr}$ [μs]	0.7
$I_{RRM}$ [mA]	-2.0

Tab.3

Simulovaná data pro $T_T=6\mu s$ :	
f [kHz]	100.0
$I_{FM}$ [mA]	4.0
$t_{rr}$ [μs]	2.0
$I_{RRM}$ [mA]	-5.0

Doplňte hodnoty  
ze simulací



## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### M6.3: Měření usměrňovače

Pro Si PN a Schottky diody změřte

- stejnosměrnou složku výstupního napětí  $U_{výst}$
- střídavou složku výstupního napětí (zvlnění)  $u_{výstšš}$
- hodnotu nabíjecího proudu  $i_D$  a dobu otevření  $\Delta t$

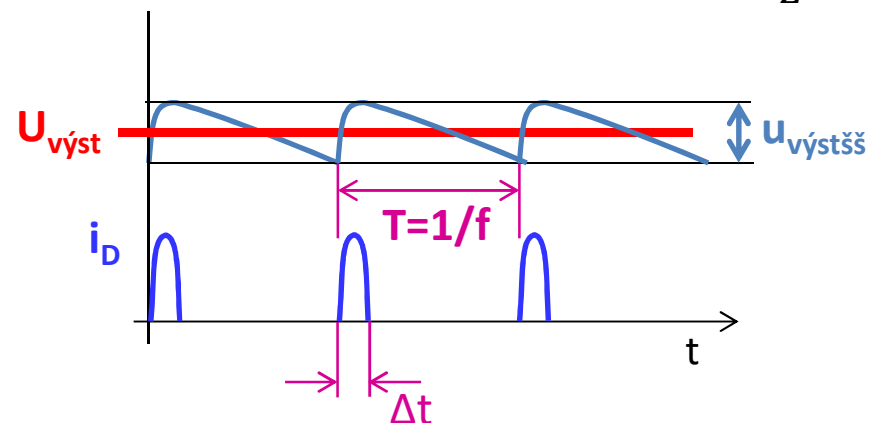
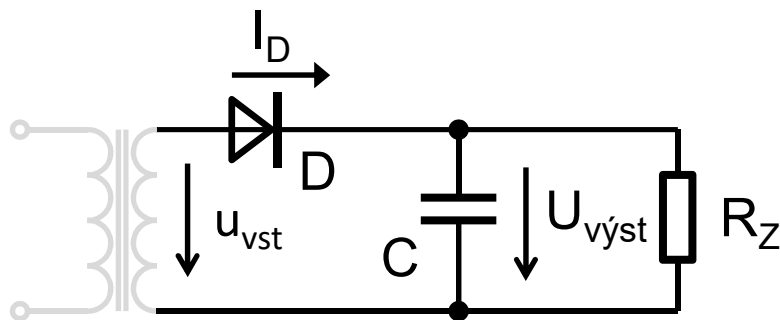
$U_{výst}$  - stejnosměrný voltmetr

$u_{výstšš}$  - osciloskop „AC“

Meřte při kmitočtu  $u_{vst}$  50Hz a 100kHz a zadanou kombinaci  $R_Z$ ,  $C$ :

$u_{vst}$	$C$	$R_Z$
50Hz	100 $\mu$ F	1k $\Omega$
100kHz	0,1 $\mu$ F	1k $\Omega$

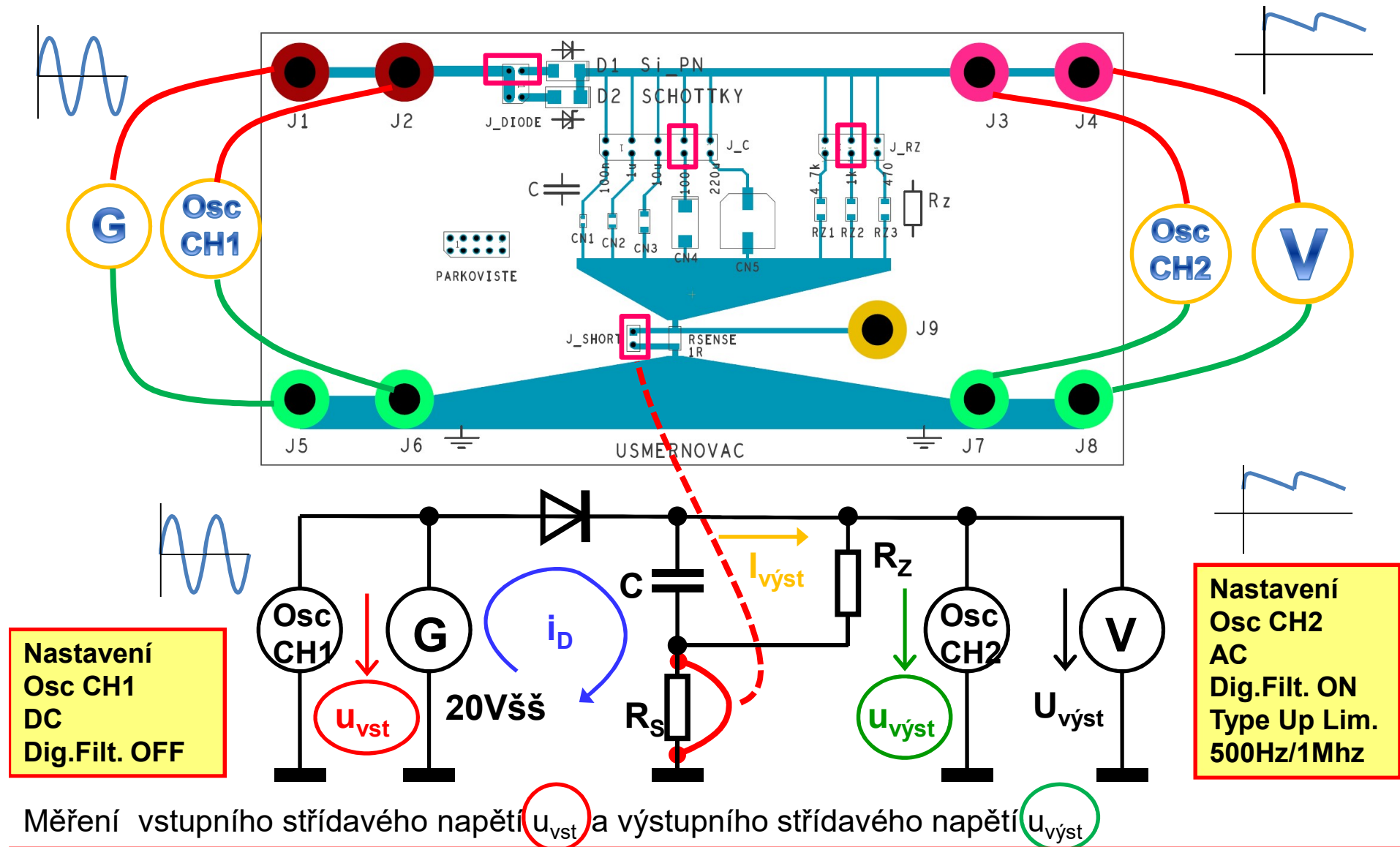
Porovnejte hodnotu změřeného zvlnění s výpočtem podle vzorce:  $u_{výstšš} \approx \frac{U_{výst}}{R_Z \cdot C \cdot f}$





## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### M6.3: Měření usměrňovače



# C6.3 Dynamické vlastnosti diod

## Vyhodnocení M6.3 – usměrňovač

### EXCEL – karta Usměrňovač:

Tab.1_50Hz			
SIMULACE 50Hz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	100	100	
u <sub>výstš</sub> [V]	1.0	1.0	
U <sub>výst</sub> [V]	4.0	4.5	
I <sub>výst</sub> [mA]	4.0	4.5	
I <sub>0max</sub> [mA]	60	70	
@			
Δt [ms]	3	3	
u <sub>výstef</sub> [V]	0.354	0.354	
p [%]	8.8	7.9	

Tab.1_100kHz			
SIMULACE 100kHz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1	
u <sub>výstš</sub> [V]	2.2	0.7	
U <sub>výst</sub> [V]	3.0	4.5	
I <sub>výst</sub> [mA]	3.0	4.5	
I <sub>0max</sub> [mA]	200	70	
@			
Δt [μs]	2	1	
u <sub>výstef</sub> [V]	0.778	0.247	
p [%]	25.9	5.5	

*Doplňte změřené hodnoty z osciloskopu a voltmetru*

Tab.2_50Hz			
MĚŘENÍ 50Hz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	100	100	
u <sub>výstš</sub> [V]	1.0	1.0	
U <sub>výst</sub> [V]	4.0	4.5	
I <sub>výst</sub> [mA]	4.0	4.5	
I <sub>0max</sub> [mA]	60	70	
@			
Δt [ms]	3	3	
u <sub>výstef</sub> [V]	0.354	0.354	
p [%]	8.8	7.9	

Tab.2_100kHz			
MĚŘENÍ 100kHz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1	
u <sub>výstš</sub> [V]	2.2	0.7	
U <sub>výst</sub> [V]	3.0	4.5	
I <sub>výst</sub> [mA]	3.0	4.5	
I <sub>0max</sub> [mA]	200	70	
@			
Δt [μs]	2	1	
u <sub>výstef</sub> [V]	0.778	0.247	
p [%]	25.9	5.5	

*Výpočet zvlnění podle vzorce proběhne automaticky*

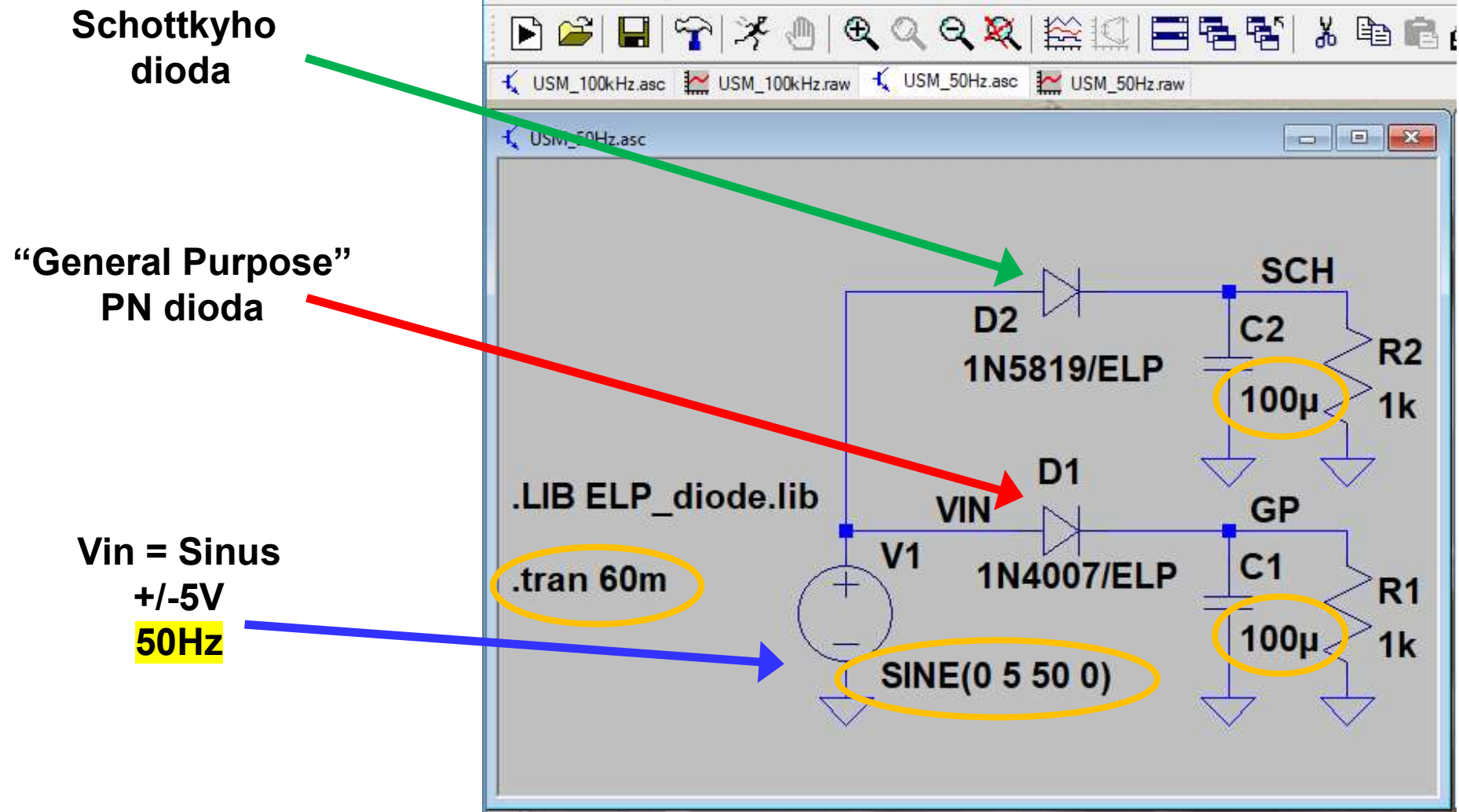
$$u_{výstš} \approx \frac{U_{výst}}{R_Z \cdot C \cdot f}$$

Tab.3_50Hz			
VÝPOČET 50Hz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	100	100	
u <sub>výstš</sub> [V]	0.80	0.90	

Tab.3_100kHz			
VÝPOČET 100kHz			
dioda:	PN	Schottky	
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000	
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1	
u <sub>výstš</sub> [V]	0.30	0.45	

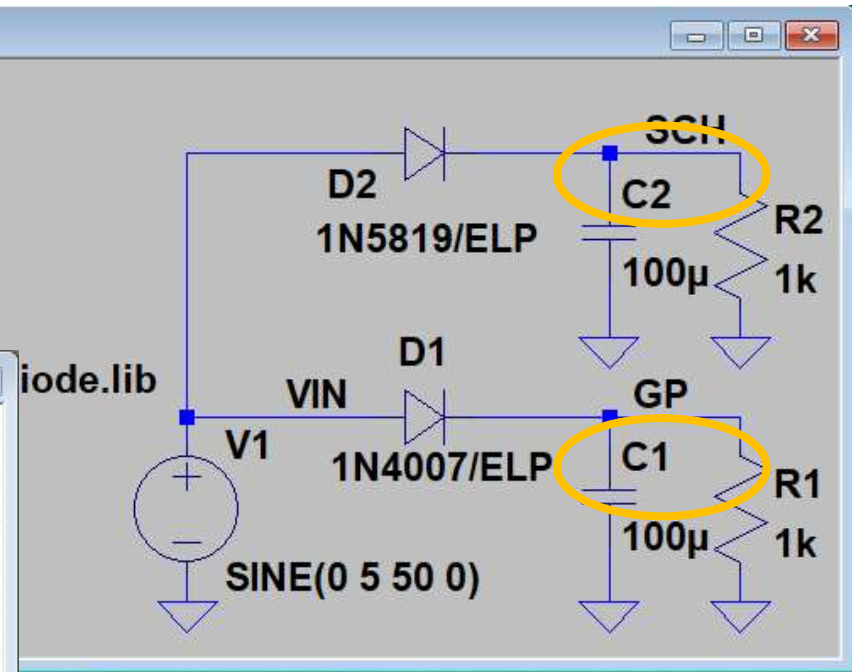
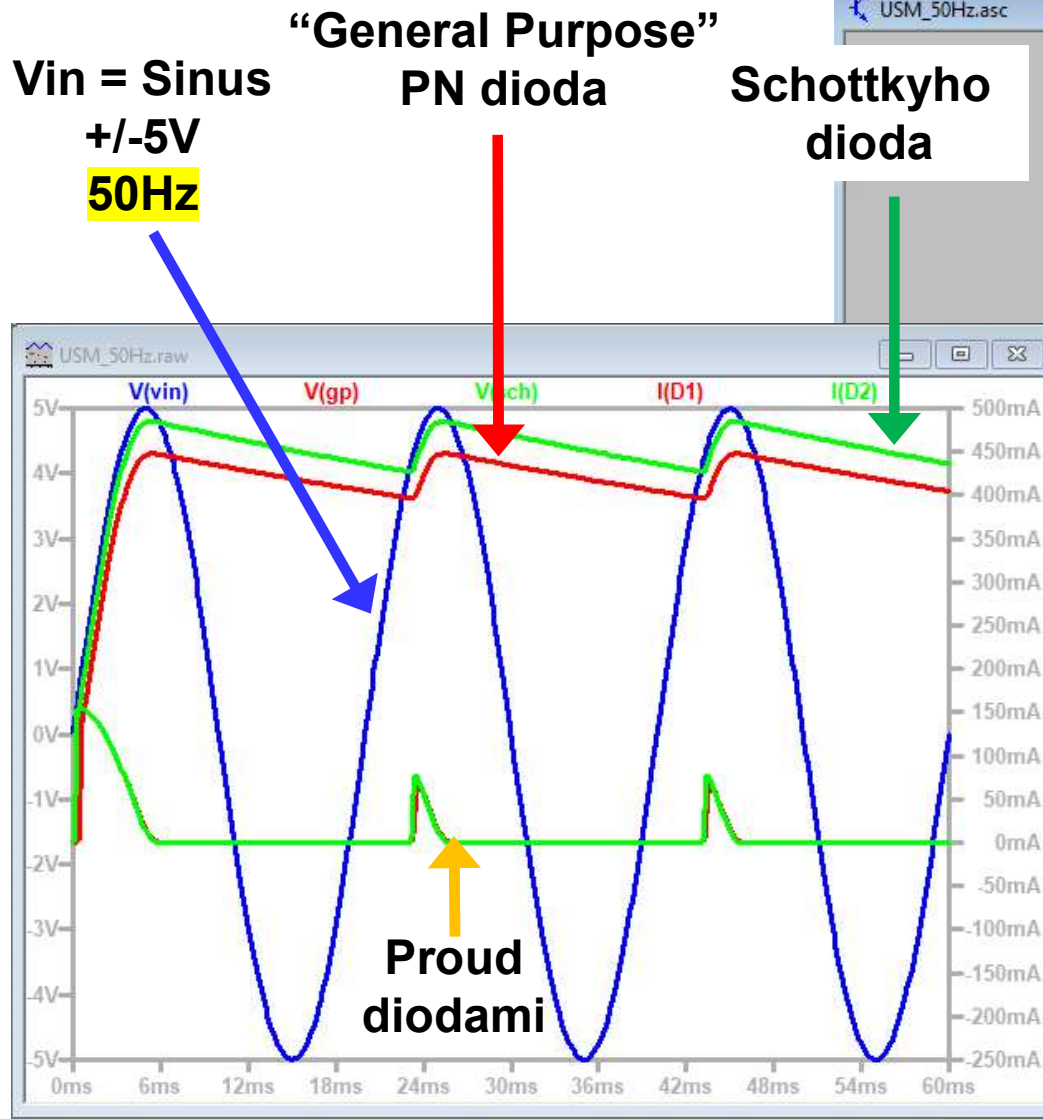
## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.2: Simulace usměrňovače – 50Hz



## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.2: Simulace usměrňovače – 50Hz



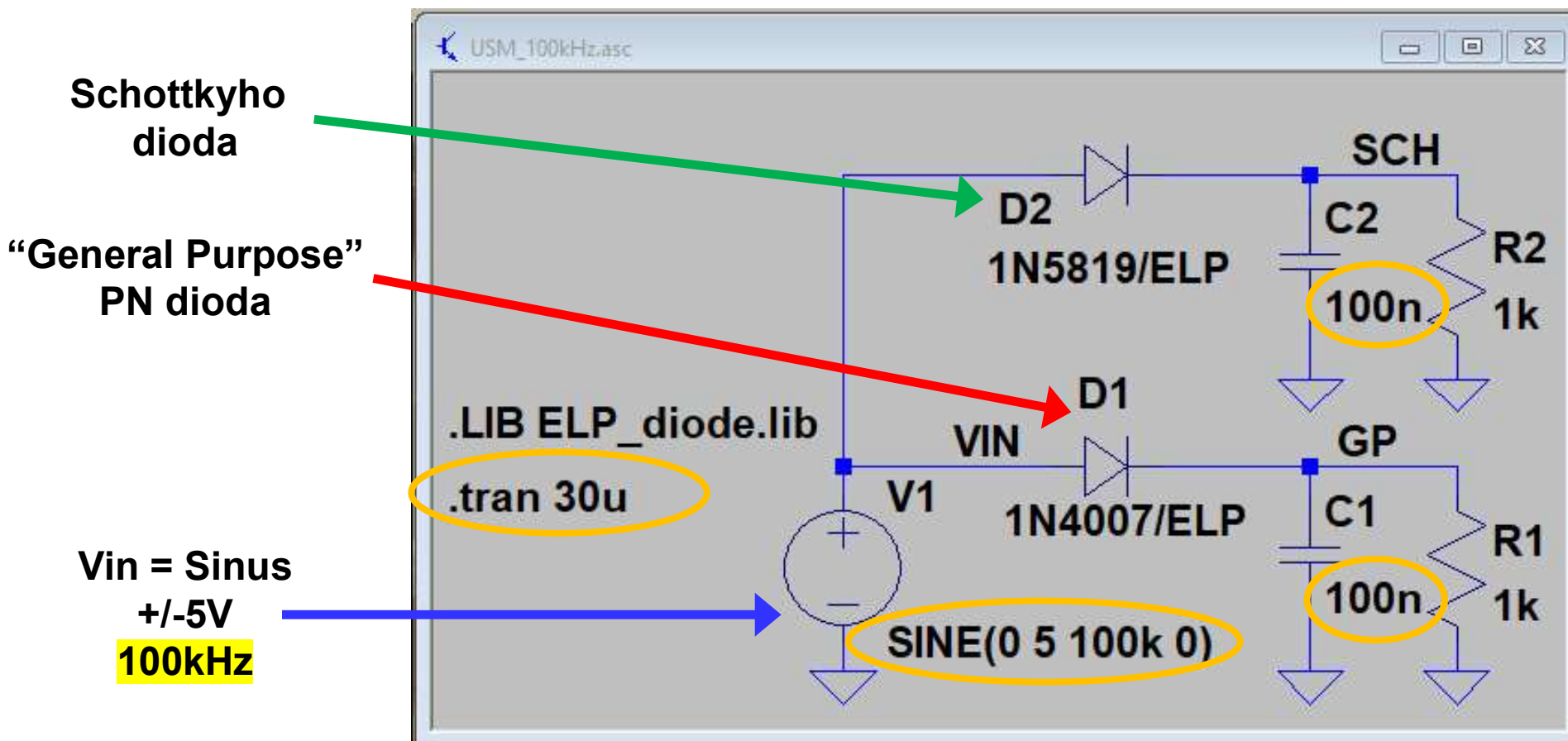
#### Usměrňovač 50Hz:

- Velká kapacita
- Schottkyho dioda  
– větší výstupní napětí



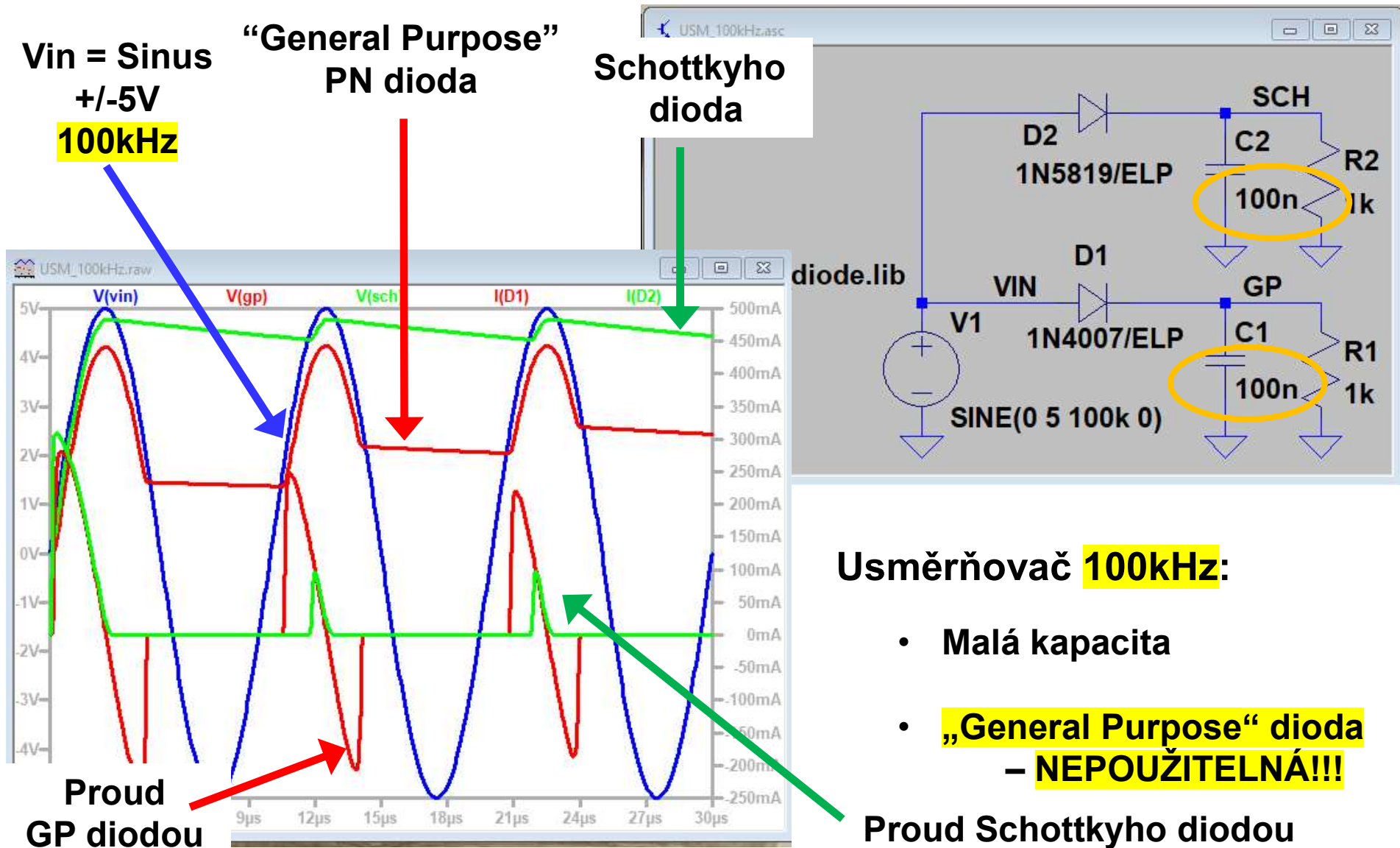
## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.3: Simulace usměrňovače – 100kHz



## C6.3 Dynamické vlastnosti diod

### S6.3: Simulace usměrňovače – 100kHz





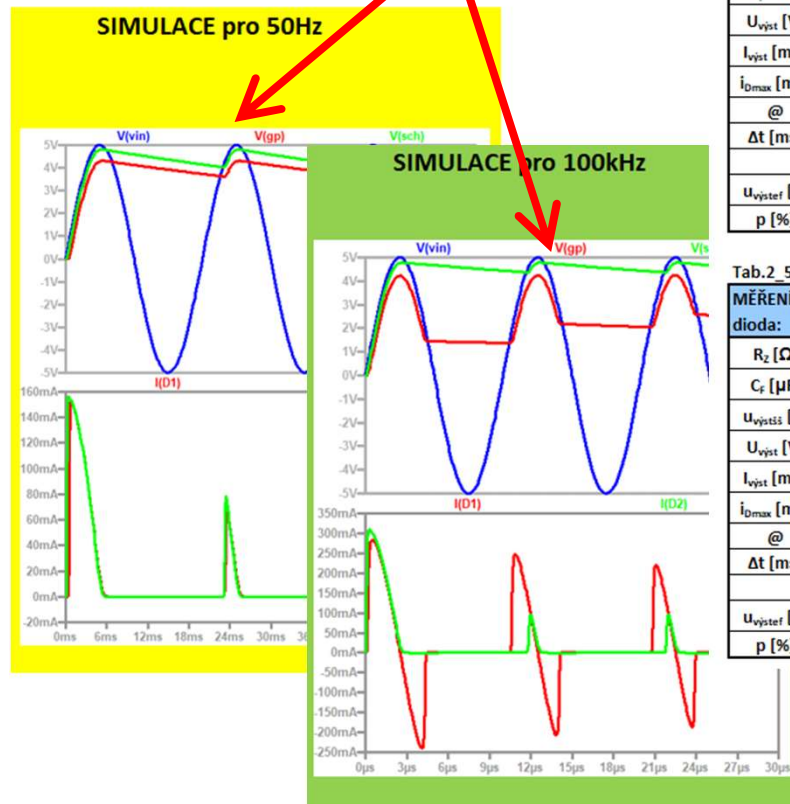
# C6.3 Dynamické vlastnosti diod

## Vyhodnocení S6.2 a S6.3 – usměrňovač

EXCEL – karta Usměrňovač:

Doplňte hodnoty ze simulací

Vložte  
nasimulované průběhy



Tab.1 50Hz

SIMULACE 50Hz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	100	100
u <sub>výstš</sub> [V]	1.0	1.0
U <sub>výst</sub> [V]	4.0	4.5
I <sub>výst</sub> [mA]	4.0	4.5
I <sub>Dmax</sub> [mA]	60	70
@		
Δt [ms]	3	3
u <sub>výstef</sub> [V]	0.354	0.354
p [%]	8.8	7.9

Tab.1 100kHz

SIMULACE 100kHz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1
u <sub>výstš</sub> [V]	2.2	0.7
U <sub>výst</sub> [V]	3.0	4.5
I <sub>výst</sub> [mA]	3.0	4.5
I <sub>Dmax</sub> [mA]	200	70
@		
Δt [μs]	2	1
u <sub>výstef</sub> [V]	0.778	0.247
p [%]	25.9	5.5

Tab.2 50Hz

MĚŘENÍ 50Hz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	100	100
u <sub>výstš</sub> [V]	1.0	1.0
U <sub>výst</sub> [V]	4.0	4.5
I <sub>výst</sub> [mA]	4.0	4.5
I <sub>Dmax</sub> [mA]	60	70
@		
Δt [ms]	3	3
u <sub>výstef</sub> [V]	0.354	0.354
p [%]	8.8	7.9

Tab.2 100kHz

MĚŘENÍ 100kHz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1
u <sub>výstš</sub> [V]	2.2	0.7
U <sub>výst</sub> [V]	3.0	4.5
I <sub>výst</sub> [mA]	3.0	4.5
I <sub>Dmax</sub> [mA]	200	70
@		
Δt [μs]	2	1
u <sub>výstef</sub> [V]	0.778	0.247
p [%]	25.9	5.5

50Hz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	100	100
u <sub>výstš</sub> [V]	0.80	0.90

Tab.3 100kHz

VÝPOČET 100kHz	PN	Schottky
dioda:		
R <sub>Z</sub> [Ω]	1000	1000
C <sub>F</sub> [μF]	0.1	0.1
u <sub>výstš</sub> [V]	0.30	0.45

$$u_{výstš} \approx \frac{U_{výst}}{R_Z \cdot C \cdot f}$$