

1. POLOVODIČOVÁ DIODA 1N4148 JAKO USMĚRŇOVAČ

Zadání laboratorní úlohy

- a) Zaznamenejte datum a čas měření, atmosférické podmínky, při nichž dané měření probíhá (teplota, tlak, vlhkost).
- b) Prostřednictvím digitálního osciloskopu Tektronix realizujte měření průběhů vln na jednocestném usměrňovači s polovodičovou diodou 1N4148. Sestrojte grafy následujících průběhů vln:
 - průběh signálu U_{IN} vstupující do usměrňovače,
 - průběh signálu U_{OUT} vystupující z usměrňovače bez kapacitního filtru,
 - průběh signálu U_{OUT} vystupující z usměrňovače s kapacitním filtrem.
- c) Zaznamenejte velikost špičkového napětí U_{p-p} transformátoru, dále zaznamenejte velikost špičkového napětí U_{p-p} na výstupu usměrňovače.
- d) Vypočtete efektivní hodnotu napětí U_{RMS} transformátoru, výpočtem stanovte střední hodnotu napětí $U_{stř}$ na výstupu usměrňovače.
- e) Prostřednictvím digitálního osciloskopu Tektronix realizujte měření průběhů vln na dvoucestném usměrňovači se střední odbočkou, tvořeném polovodičovými diodami 1N4148. Sestrojte grafy následujících průběhů vln:
 - průběh signálu U_{IN} vstupující do usměrňovače,
 - průběh signálu U_{OUT} vystupující z usměrňovače.
- f) Opakujte body c) a d).
- g) Prostřednictvím digitálního osciloskopu Tektronix realizujte měření průběhů vln na dvoucestném můstkovém usměrňovači s polovodičovými diodami 1N4148. Sestrojte grafy následujících průběhů vln:
 - průběh signálu U_{IN} vstupující do usměrňovače,
 - průběh signálu U_{OUT} vystupující z usměrňovače.
- h) Opakujte body c) a d).
- i) Proved'te srovnání usměrňovačů. Případné rozdíly zdůvodněte.

Teoretický rozbor měření usměrňovačů s polovodičovými diodami 1N4148

Pro napájení menších elektronických zařízení s polovodičovými součástkami (přijímače, měřicí přístroje) ze sítě se používá usměrňovacích obvodů s napětím asi od 5 V do 30 V s odběrem proudu od desítek mikroampérů do několika ampérů. Podle těchto požadavků je třeba volit typ použitých diod.

Germaniové diody mají menší úbytek napětí v propustném směru, jsou levné, avšak mají nízkou přípustnou teplotu přechodu. Křemíkové diody mají větší úbytek napětí, naproti tomu snesou vysokou teplotu, mají velmi malý proud v závěrném směru a vyrábějí se pro závěrná napětí až do několika kV.

Ø Atmosférické podmínky

Před každým měřením je nutné zaznamenat atmosférické podmínky, při nichž má měření probíhat. Klíčovým údajem atmosférických podmínek při měření, je teplota, jenž má zásadní vliv, nejen na měření polovodičových součástek, ale obecně ovlivňuje veškerá prováděná měření.

Hodnoty střídavého napětí U a proudu I

Střídavé napětí a proud mají v každém okamžiku jinou velikost a za určitý čas i směr. U střídavého napětí a proudu rozeznáváme:

- a) okamžité hodnoty napětí a proudu, označujeme malými písmeny u , i ,
- b) maximální (špičkové) hodnoty napětí a proudu, označujeme U_{p-p} , I_{p-p} ,
- c) efektivní hodnoty napětí a proudu, označujeme U_{RMS} , I_{RMS} ,
- d) střední hodnota napětí a proudu, označujeme $U_{stř}$, $I_{stř}$.

Efektivní hodnota U_{RMS} střídavého proudu I

Efektivní hodnota střídavého proudu je myšlená hodnota stejnosměrného proudu, který v rezistoru za stejnou dobu vyvolá stejné tepelné účinky, jako uvažovaný střídavý proud.

Efektivní hodnoty jsou v praxi nejdůležitější. Jedná se o hodnoty, které měří běžné měřicí přístroje. Tyto hodnoty jsou uváděny na štítcích elektrických spotřebičů, strojů a zařízení. Vztah mezi maximální a efektivní hodnotou napětí a proudu:

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}},$$

$$I_{\text{RMS}} = \frac{I_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}}.$$

Střední hodnota $U_{\text{stř}}$ střídavého I

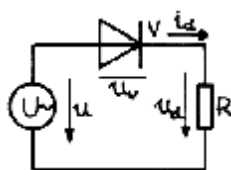
Střední hodnota střídavého proudu se rovná myšlené hodnotě stejnosměrného proudu, který má stejné chemické účinky jako uvažovaný usměrněný střídavý proud.

$$U_{\text{stř}} = \frac{2}{\pi} U_{\text{p-p}},$$

$$I_{\text{stř}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{p-p}}.$$

Jednocestný usměřňovač

Je tvořen usměřňovací diodou, zařazenou do jedné cesty střídavého vstupního signálu. Dioda propouští pouze kladné půlperiody střídavého vstupního signálu. Napětí na výstupu usměřňovače není trvalé, ale tepavé. Nevýhodou je velké zvlnění usměrněného signálu. Používají se nejvíce tam, kde na výsledek usměrnění nejsou kladeny zvláštní požadavky.



Obr. 1.1 Jednocestný usměřňovač.

Efektivní hodnota napětí U_{RMS} na transformátoru:

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}}.$$

Vztah mezi střední hodnotou napětí $U_{\text{stř}}$ a efektivní hodnotou napětí U_{RMS} :

$$U_{\text{stř}} = \frac{2}{\pi} U_{\text{p-p}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{RMS}}.$$

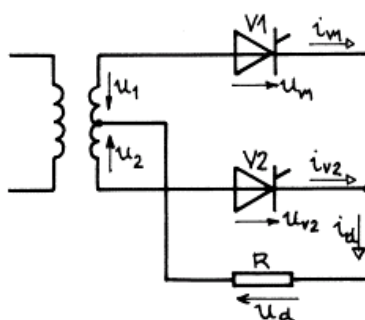
Pro jednocestný usměrňovač platí:

$$U_{\text{stř}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{RMS}}.$$

Dvoucestný usměrňovač

Usměrňovač, využívající obou půlperiod střídavého vstupního signálu, nazýváme dvoucestným usměrňovačem. Je tvořen minimálně dvěma diodami a transformátorem s vyvedeným středem. Proti vyvedenému středu na sekundárním vinutí je střídavé napětí, na koncích sekundárního vinutí transformátoru pak dochází ke střídání fáze.

Střídání fáze způsobuje změnu polarity na koncích sekundárního vinutí, což má za následek, že při každé půlperiodě protéká proud jednou z diod. Tento druh usměrňovače se využívá zejména pro speciální aplikace, neboť je zapotřebí transformátoru s vyvedeným středem, který zvyšuje cenu usměrňovače.



Obr. 1.2 Dvoucestný usměrňovač.

Efektivní hodnota napětí U_{RMS} na transformátoru:

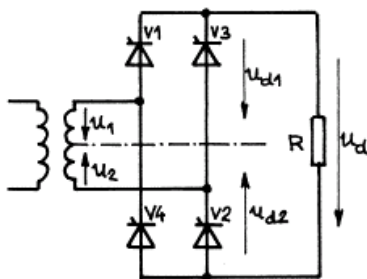
$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}}.$$

Střední hodnota napětí $U_{stř}$ na výstupu dvoucestného usměrňovače:

$$U_{stř} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{RMS}.$$

Můstkový (Grätzův) usměrňovač

U tohoto usměrňovače, prochází proud v každé půlperiodě dvěmi diodami zapojenými v sérii, se zátěží. Obě diody jsou dimenzovány na celou amplitudu a to z toho důvodu, že nemusí mít přesně stejně velký proud v závěrném směru, i když se jedná o diody stejného typu. Diody jsou zapojeny v sérii, protéká jimi stejně velký proud. Tento proud je určen převážně diodou s nižším závěrným proudem a výsledkem bude, že prakticky celé závěrné napětí zůstane na diodě s nižším závěrným proudem. Znamená to tedy, že na diodě, s větším závěrným proudem, bude podstatně nižší napětí. Důležité, zejména pro usměrňování malých napětí je si uvědomit, že v Grätzově zapojení, máme v sérii se zátěží vždy dvě diody, tudíž napětí na zátěži, bude vždy nižší o dva úbytky napětí na diodě, oproti napětí na sekundárním vinutí transformátoru.



Obr. 1.3 Můstkový usměrňovač.

Efektivní hodnota napětí U_{RMS} na transformátoru:

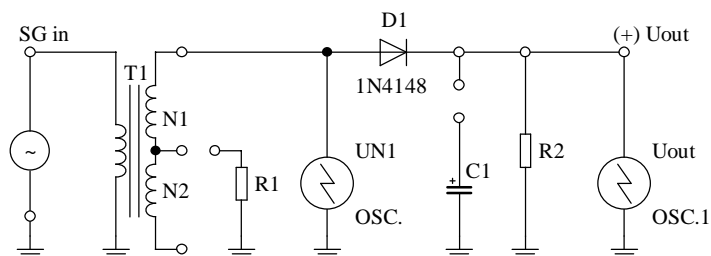
$$U_{RMS} = \frac{U_{p-p}}{\sqrt{2}}.$$

Střední hodnota napětí $U_{stř}$ na výstupu můstkového usměrňovače:

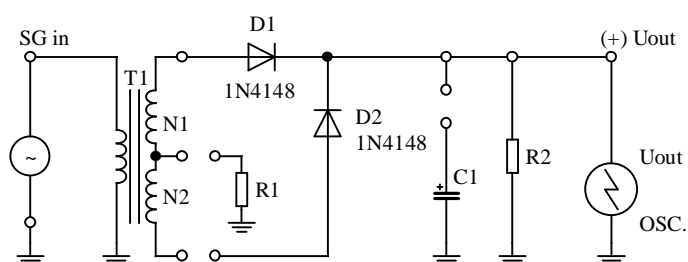
$$U_{stř} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{RMS}.$$

Teoretický rozbor zvolené měřicí metody – viz. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

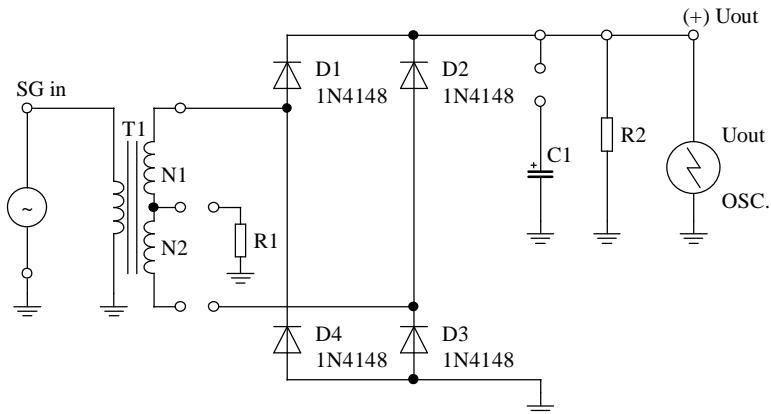
Schéma zapojení



Obr. 1.4 Jednocestný usměrňovač.



Obr. 1.5 Dvoucestný usměrňovač.



Obr. 1.6 Můstkový usměrňovač.

Použité měřicí přístroje

- Digitální teploměr, vlhkoměr a barometr Comet System – typ D4141, v.č. 03910062, napájení ss. 9 V, int. teplota ($-10 \div 60$) °C, ext. teplota ($-30 \div 80$) °C.
- Digitální multimetr – typ PU 510, v.č. 7466829, napájení ss. 9 V.
- Digitální osciloskop Tektronix – typ TDS 3012, v.č. B014565, napájení 230 V.
- Měřicí souprava firmy Degem Systém.



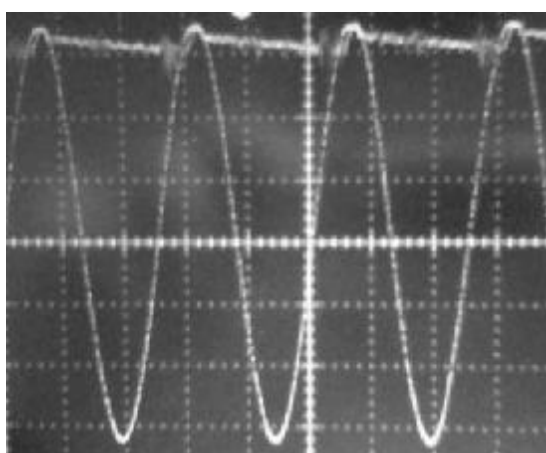
Obr. 1.7 Digitální osciloskop Tektronix.

Popis postupu měření

- a) Na měřicím přístroji Comet System odečtete a zaznamenejte teplotu, tlak a vlhkost. Odečtené hodnoty zaokrouhlete na jedno desetinné místo a zapište.
- b) Zapojte obvod pro měření na jednocestném usměrňovači dle obr. 1.4.
- c) Připojte signální generátor do zásuvky “SG in”. Nastavte sinusovou vlnu s kmitočtem $f = 100 \text{ Hz}$.
- d) Připojte střední vývod transformátoru T1 na zem přes rezistor R_1 dle obr. 1.4.
- e) Připojte kanál 1 osciloskopu (CH1) pro měření napětí na sekundárním vinutí transformátoru označeném N_1 , viz. obr. 1.4.
- f) Nastavte výstup signálního generátoru tak, aby CH1 osciloskopu ukazoval špičkové napětí U_{p-p} o velikosti 14 V.
- g) Připojte kanál 2 osciloskopu (CH2) pro měření napětí na rezistoru R_2 dle obr. 1.4. Ujistěte se, že oba měřicí kanály mají nastavené stejné zesílení a oba jsou přepnuty v poloze “DC”.
- h) Sestrojte grafy vstupních U_{IN} a výstupních U_{OUT} vln. Sledujte rozdíl amplitudy mezi vstupním a výstupním signálem vlivem diody D_1 .
- i) Připojte kondenzátor C_1 paralelně s R_2 použitím šňůry.
- j) Zaznamenejte průběh signálu U_{OUT} u jednocestného usměrňovače s kapacitním filtrem.
- k) Vypočtete efektivní hodnotu napětí U_{RMS} na transformátoru a dále výpočtem stanovte střední hodnotu napětí $U_{stř}$ na výstupu jednocestného usměrňovače.
- l) Zapojte obvod pro měření na dvoucestném usměrňovači dle obr. 1.5.
- m) Připojte signální generátor do zásuvky “SG in”. Nastavte sinusovou vlnu s kmitočtem $f = 100 \text{ Hz}$.
- n) Připojte diodu D_2 dle obr. 1.5.
- o) Připojte střední vývod transformátoru T1 na zem přes rezistor R_1 dle obr. 1.5.

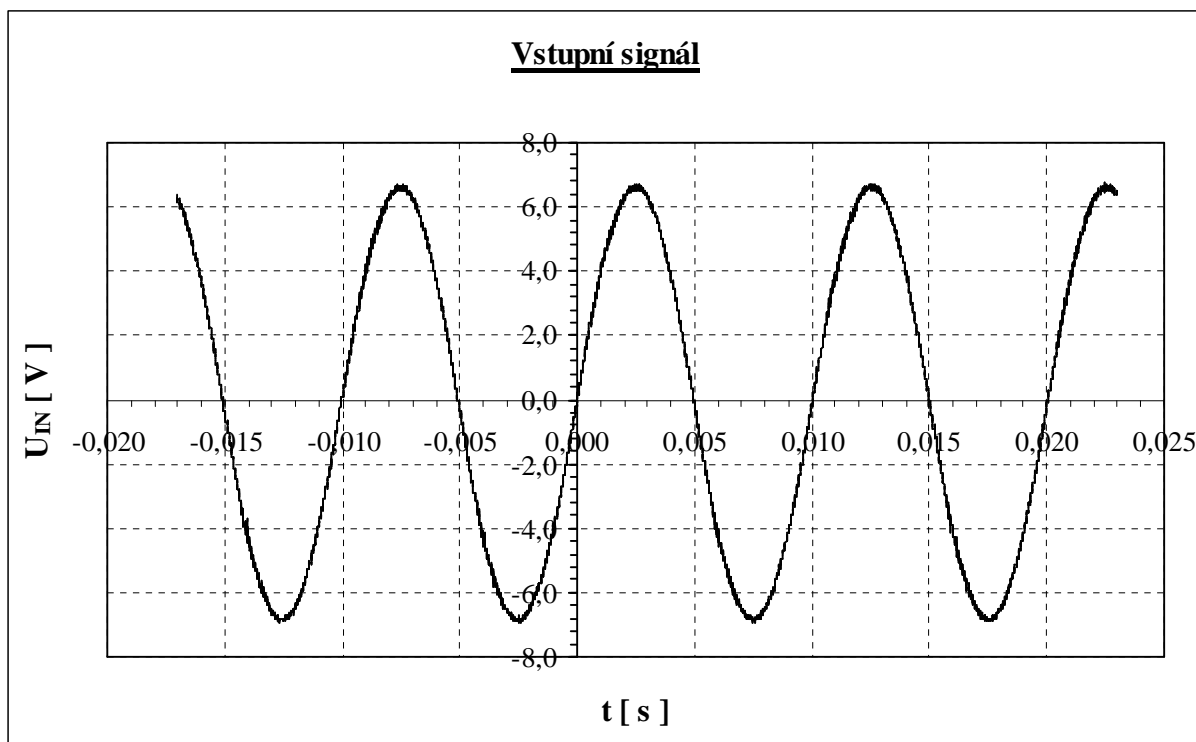
- p) Nastavte výstup signálního generátoru na napětí U_{p-p} o velikosti 14 V.
- q) Připojte kanál 2 osciloskopu (CH2) pro měření napětí na rezistoru R_2 dle obr. 1.5.
- r) Sestrojte grafy vstupních U_{IN} a výstupních U_{OUT} vln. Sledujte rozdíl amplitudy mezi vstupním a výstupním signálem.
- s) Vypočtěte efektivní hodnotu napětí U_{RMS} na transformátoru a dále výpočtem stanovte střední hodnotu napětí $U_{stř}$ na výstupu dvoucestného usměrňovače.
- t) Zapojte obvod pro měření na dvoucestném můstkovém usměrňovači dle obr. 1.6.
- u) Připojte signální generátor do zásuvky “SG in”. Nastavte sinusovou vlnu s kmitočtem $f = 100$ Hz.
- v) Propojte výstup sekundárního vinutí transformátoru T1 s diodou D_4 a současně připojte uzlové spojení diod D_3 a D_4 na zem dle obr. 1.6.
- w) Nastavte výstup signálního generátoru na napětí U_{p-p} o velikosti 14 V.
- x) Připojte kanál 2 osciloskopu (CH2) pro měření napětí na rezistoru R_2 můstkového usměrňovače.
- y) Sestrojte grafy vstupních U_{IN} a výstupních U_{OUT} vln. Sledujte rozdíl amplitudy mezi vstupním a výstupním signálem.
- z) Vypočtěte efektivní hodnotu napětí U_{RMS} na transformátoru a dále výpočtem stanovte střední hodnotu napětí $U_{stř}$ na výstupu dvoucestného usměrňovače v můstkovém zapojení.

Grafy a výpočty



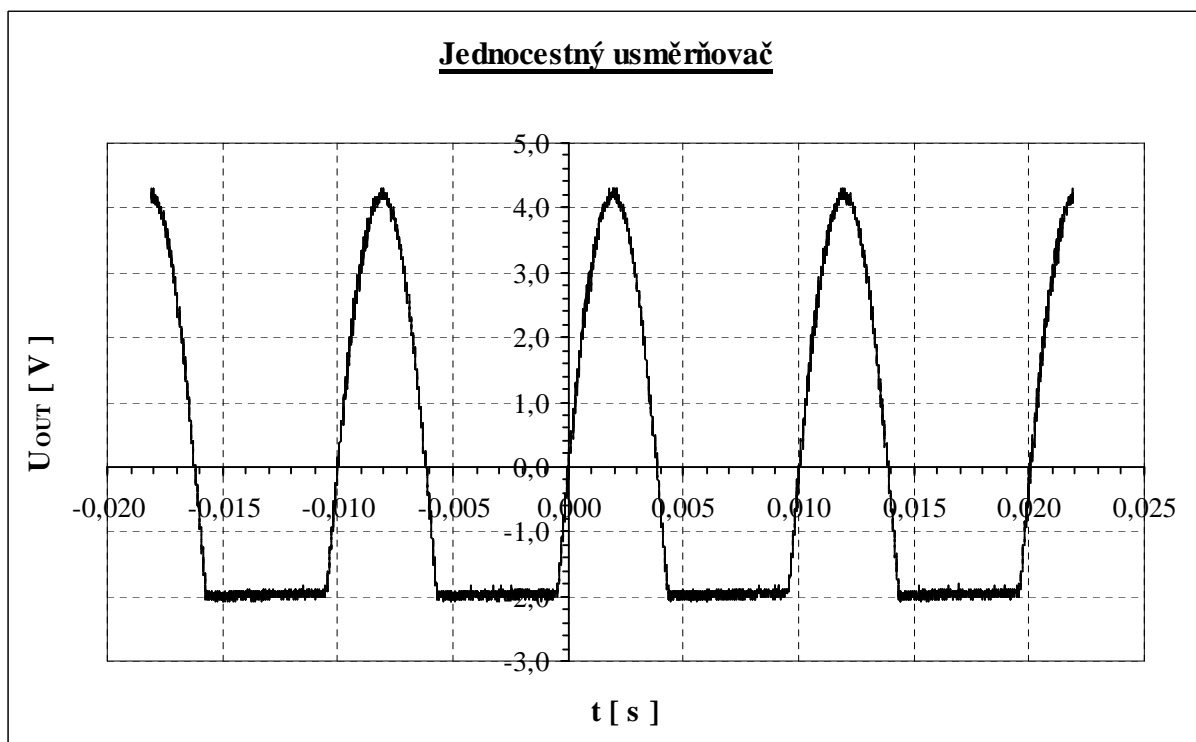
Obr. 1.7 Jednocestný usměrňovač s kapacitním filtrem (zkopírováno z osciloskopu Tektronix).

Graf 1.



Sinusový průběh vstupního signálu U_{IN} o frekvenci $f = 100$ Hz, vstupující na sekundární straně transformátoru do jednocestného usměrňovače.

Graf 2.



Výstupní signál U_{OUT} jednocestného usměrňovače.

Výpočty pro jednocestný usměrňovač

Výpočet efektivní hodnoty napětí U_{RMS} transformátoru.

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}} = \frac{14}{\sqrt{2}} = \underline{9,89 \text{ V}} .$$

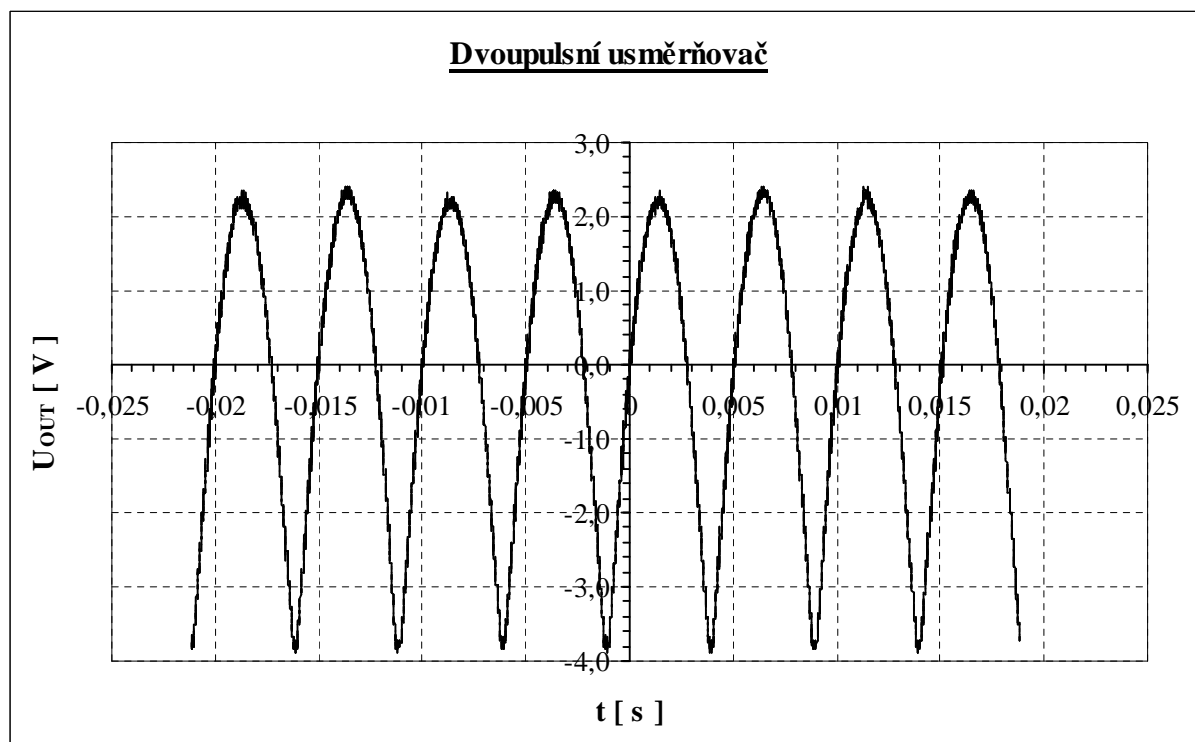
Jelikož dle schématu zapojení využíváme pouze $\frac{1}{2}$ sekundárního vinutí transformátoru, bude

$$\text{výsledná hodnota napětí } \frac{U_{\text{RMS}}}{2} = \underline{4,95 \text{ V}} .$$

Výpočet střední hodnoty $U_{\text{stř}}$ na výstupu usměrňovače.

$$U_{\text{stř}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{RMS}} = \frac{\sqrt{2}}{3,14} 4,95 = \underline{2,23 \text{ V}} .$$

Graf 3.



Výstupní signál U_{OUT} dvoucestného usměrňovače s transformátorem se středním vývodem.

Výpočty pro dvoucestný usměrňovač

Výpočet efektivní hodnoty napětí U_{RMS} transformátoru.

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}} = \frac{14}{\sqrt{2}} = \underline{9,89 \text{ V}} .$$

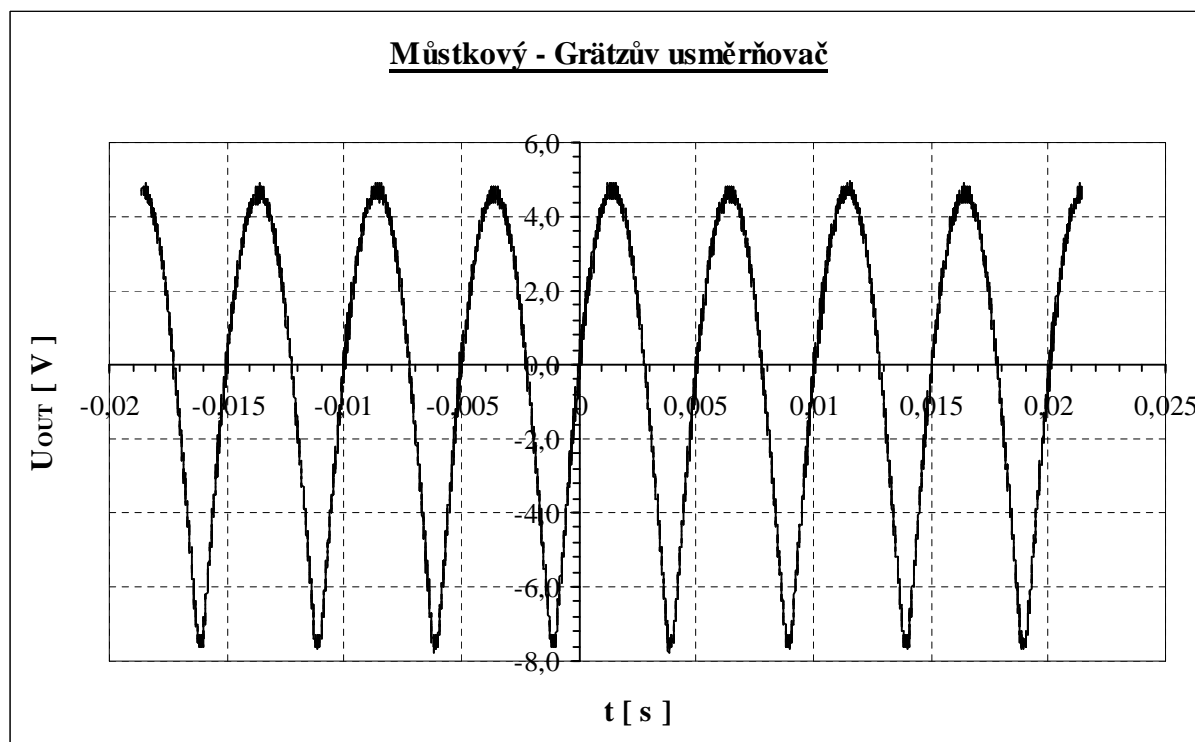
Jelikož dle schématu zapojení využíváme pouze $\frac{1}{2}$ sekundárního vinutí transformátoru, bude

$$\text{výsledná hodnota napětí } \frac{U_{\text{RMS}}}{2} = \underline{4,95 \text{ V}} .$$

Výpočet střední hodnoty $U_{\text{stř}}$ na výstupu usměrňovače.

$$U_{\text{stř}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{RMS}} = \frac{2\sqrt{2}}{3,14} 4,95 = \underline{4,46 \text{ V}} .$$

Graf 4.



Výstupní signál můstkového usměrňovače.

Výpočty pro můstkový usměrňovač

Výpočet efektivní hodnoty U_{RMS} napětí transformátoru.

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_{\text{p-p}}}{\sqrt{2}} = \frac{14}{\sqrt{2}} = \underline{9,89 \text{ V}} .$$

Výpočet střední $U_{\text{stř}}$ hodnoty na výstupu usměrňovače.

$$U_{\text{stř}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{RMS}} = \frac{2\sqrt{2}}{3,14} 9,89 = \underline{8,91 \text{ V}} .$$

Závěr

Možnosti využití diody jako usměrňovače jsou široké. Uvádíme zde dvě základní zapojení a to jednocestné a dvoucestné, přičemž dvoucestné rozdělujeme ještě na zapojení se střední vinutím a můstkové (Grätzovo). Základní rozdíl, jak je patrné z grafů 2, 3 a 4 spočívá v tom, že jednocestný usměrňovač (graf 2) využívá jen jednu ze dvou půlperiod střídavého vstupního signálu. To může být i výhoda, např. když potřebujeme snížit střední hodnotu napětí, např. pro stejnosměrný motor s nižší jmenovitou hodnotou napětí než je ta, kterou usměrňujeme, nebo pro žárovku, chceme-li úsporné osvětlení. Obecně lze říci, že jednocestný usměrňovač použijeme tam, kde nám nevadí, že nevyužijeme celou periodu střídavého vstupního signálu. Výhoda jednocestného usměrňovače je také v jeho jednoduchosti a nízké ceně.

Usměrňovač, který využívá obou půlperiod střídavého vstupního signálu, nazýváme dvoucestný (graf 3). Pro jeho konstrukci potřebujeme minimálně dvě diody a transformátor se sekundárním vinutím s vyvedeným středem. Takové vinutí se navíjí současně dvěma dráty (bifilární vinutí) a následně se propojí konec jedné části se začátkem druhé části. Proti středu vinutí pak bude mít střídavé napětí, na zbývajících koncích opačnou fázi, tj. bude-li např. napětí na horním vývodu sekundárního vinutí mít maximum, bude napětí na spodním konci sekundárního vinutí mít minimum. Obě diody se tedy ve vedení proudu v každé půlperiodě střídají, vede-li např. v první půlperiodě horní dioda, vede ve druhé půlperiodě spodní dioda atd. Efektivní hodnota napětí U_{RMS} je stejná jako u jednocestného usměrňovače. Střední hodnota $U_{\text{stř}}$ je ovšem dvojnásobná, proti zapojení jednocestného usměrňovače.

Pro případ, že nemáme k dispozici transformátor s dvojitým, bifilárně vinutým sekundárním vinutím, můžeme pro dvoucestné usměrnění použít tzv. Grätzovo, nebo-li můstkové zapojení (graf 4). U tohoto zapojení, prochází proud v každé půlperiodě dvěma diodami, zapojenými v sérii se zátěží. Jediný rozdíl vůči usměrňovači se středním vinutím je v tom, že na výstupu bude signál snížený o dva úbytky napětí na diodách zapojených v sérii. V našem případě je zde ještě další rozdíl a to ten, že u jednocestného a dvoucestného usměrňovače využíváme jen $\frac{1}{2}$ sekundárního vinutí transformátoru. Znamená to, že pokud máme špičkové napětí U_{p-p} stále stejné u všech zapojení, pak efektivní hodnota napětí U_{RMS} v Grätzově zapojení bude dvojnásobná, vůči předchozím zapojením. Střední hodnota $U_{stř}$ bude dvojnásobná proti zapojení dvoucestného usměrňovače se středním vývodem a současně čtyřnásobná, vůči zapojení jednocestného usměrňovače.