



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Návrh a realizace měřicího přípravku pro ELM

Václav Sebera

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Písek, Karla Čapka 402; se sídlem: Karla Čapka 402, 397 01
Písek

1.	Úvod	1
2.	Teoretický rozbor	1
2.1	První Kirchhoffův zákon.....	1
2.2	Druhý Kirchhoffův zákon.....	1
2.2.1	Řešení pomocí Kirchhoffových zákonů.....	1
2.2.2	Metoda smyčkových proudů	2
2.2.3	Metoda uzlových napětí.....	2
2.3	Výpočty pro obvod.....	2
2.3.1	Metoda smyčkových proudů	3
2.3.2	Metoda uzlových napětí.....	7
2.3.3	Metoda Kirchhoffových zákonů	11
3.	Ověření výpočtu v programu Multisim.....	16
4.	Realizace měřicího přípravku.....	17
4.1	Návrh součástek	17
4.2	Realizace plošného spoje	17
4.3	Zdroje	18
4.4	Frézování plexiskla pomocí frézy Mikronex	19
4.4.1	Vytvoření programu v prostředí CNC Mikronex a vyfrézování desky.....	19
4.5	3D tisk.....	21
4.6	Polepy na plexisklo.....	21
4.7	Funkční výrobek.....	23
	Závěr	24
	Seznam obrázků.....	24
	Seznam použité literatury	25
	Příloha	25

1. Úvod

Tato práce se zabývá návrhem a realizací přípravku k měření elektrických veličin pomocí metod pro řešení elektrických obvodů. Úkolem této práce bylo navrhnout a realizovat měřicí přípravek pro ověření metod uzlových napětí a smyčkových proudů. Obvodové rovnice tohoto typu jsou aplikovány pro obecný popis elektrických obvodů a nachází využití v elektrotechnice, elektronice a při návrhu moderních zařízení.

V první části práce jsou jednotlivé metody teoreticky rozebrány a poté aplikovány na konkrétní obvod s doplněnými výpočty pro zjištění elektrických veličin na jednotlivých prvcích. V další části jsou tyto výpočty ověřeny simulací v programu Multisim.

Druhá část práce se zabývá praktickým návrhem přípravku a následnou realizací na základě výpočtů a simulace. Návrh plošného spoje se zabývá navržením celého obvodu se zdroji, měřicími ampérmetry a voltmetry. Dále je obvod doplněn montážními prvky za využití moderních přístupů jako je například 3D tisk, nebo tvorba programu a následné frézování na CNC.

2. Teoretický rozbor

2.1 První Kirchhoffův zákon

První Kirchhoffův zákon popisuje zákon zachování elektrického náboje. Říká, že v každém bodě (uzlu)¹ elektrického obvodu se dělí proud do několika větví², musí být tedy součet proudů přicházejících do uzlu roven součtu proudů, které z uzlu odcházejí platí:

Algebraický součet všech proudů v uzlu se rovná nule.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Kde I_k jsou jednotlivé proudy vstupující do uzlu; proud tekoucí do uzlu je kladný, zatímco proud tekoucí z uzlu je záporný. Na základě tohoto zákona je založena Metoda uzlových napětí. [1]

2.2 Druhý Kirchhoffův zákon

Druhý Kirchhoffův zákon formuluje pro elektrické obvody zákon zachování energie; platí:

Algebraický součet všech svorkových napětí zdrojů a všech úbytků napětí na spotřebičích se v uzavřené smyčce³ rovná nule.

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0$$

Kde U_k jsou jednotlivá napětí ve smyčkách.

Podmínkou pro tento zákon je, že smyčka neobepíná žádný časově proměnný [magnetický tok](#) z důvodu indukce napětí. Na základě tohoto zákona je založena Metoda smyčkových proudů. [1]

Při řešení složitějších obvodů Kirchhoffovými zákony je matematické řešení pracné a zdlouhavé, protože vede na řešení značného počtu rovnic. Metody smyčkových proudů a uzlových napětí nám tyto matematické operace významně zjednodušují. [1]

2.2.1 Řešení pomocí Kirchhoffových zákonů

Postup řešení:

1. Zvolíme si jednotlivé uzly v obvodu a popíšeme je pomocí prvního Kirchhoffova zákona. [1]

¹ Místo, ve kterém se stýká dva a více vodičů

² Dráha mezi dvěma uzly tvořená jedním prvkem nebo několika prvky spojenými za sebou

³ Uzavřená dráha v části obvodu tvořená větvemi

2. Vyznačíme uzavřenou šipkou smysly proudů v jednotlivých větvích na každém odporu. Smysly lze volit libovolně. Při záporném výsledku skutečný proud teče opačným směrem. [1]
3. Při stejném smyslu jednotlivých proudů jako smysl jednotlivé smyčky zapisujeme jednotlivé součiny RI s kladným znaménkem, v opačném případě zapisujeme jednotlivé součiny RI se záporným znaménkem. [1]
4. Počet rovnic musí být shodný s počtem neznámých veličin. [1]

2.2.2 Metoda smyčkových proudů

Metoda je založena na použití druhého Kirchhoffova zákona

Postup řešení:

1. Označíme v každé smyčce smyčkový proud a na každém prvku předpokládaný smysl skutečného proudu. [1]
2. Pro každou smyčku sestavíme obvodovou rovnici podle druhého Kirchhoffova zákona. Tím dostaneme soustavu rovnic. [1]
3. Řešením soustavy rovnic vypočteme smyčkové proudy. [1]
4. Skutečné proudy stanovíme smyčkovými proudy, napětí na jednotlivých prvcích pak vypočteme pomocí Ohmova zákona. Vyjde-li nějaký skutečný proud je záporným znaménkem, je jeho smysl opačný, než bylo předpokládáno. [1]

2.2.3 Metoda uzlových napětí

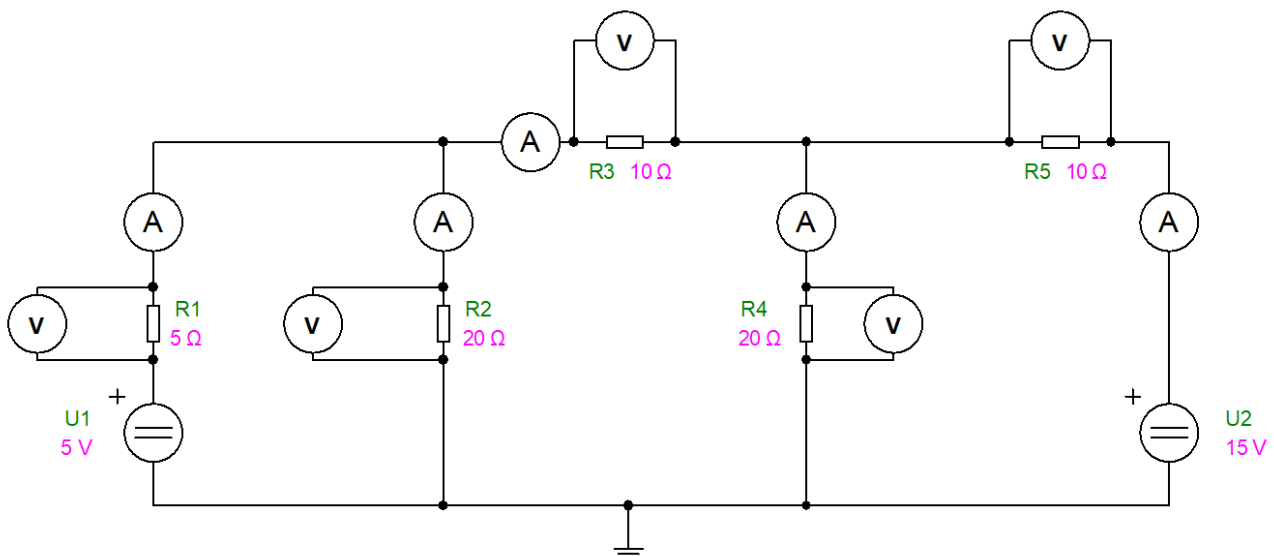
Metoda je založena na použití prvního Kirchhoffova zákona

Postup řešení:

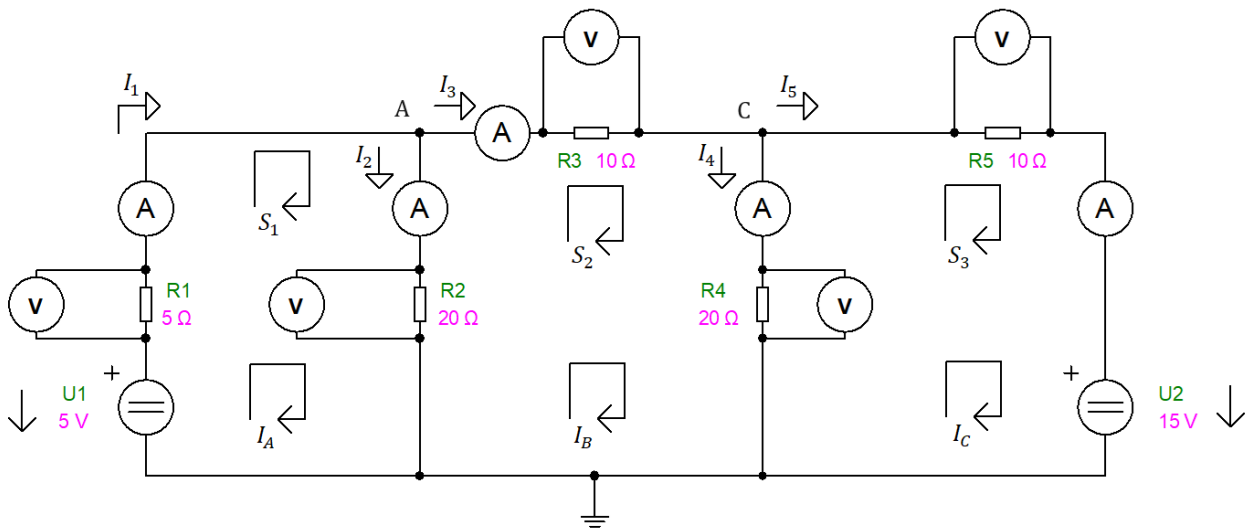
1. Označíme jednotlivé uzly, přičemž jeden z nich zvolíme jako referenční uzel. [1]
2. Mezi jednotlivými uzly a uzlem referenčním označíme uzlová napětí. [1]
3. Pro každý uzel napíšeme rovnici pomocí 1. Kirchhoffova zákona. Proudů v prvcích obvodu vyjádříme pomocí uzlových napětí, napětí zdrojů a odporů rezistorů nebo jejich vodivostí. Získáme tak soustavu rovnic, kde neznámá jsou uzlová napětí. [1]
4. Řešení soustavy rovnic dostaneme uzlová napětí. [1]
5. Pomocí uzlových napětí stanovíme proudy nebo napětí na jednotlivých prvcích obvodu. [1]

2.3 Výpočty pro obvod

Toto schéma jsem vybral z důvodu kompaktnosti a dobré názornosti dané problematiky.



Obr. 1 Schéma obvodu v programu ProfiCAD



2.3.1 Metoda smyčkových proudů

Obr. 2 Řešení obvodu pomocí Metody smyčkových proudů

$$\begin{aligned} S_1: -U_1 + R_1 \cdot I_A + R_2 \cdot (I_A - I_B) &= 0 \\ S_2: R_2 \cdot (I_B - I_A) + R_3 \cdot I_B + R_4 \cdot (I_B - I_C) &= 0 \\ S_3: U_2 + R_4 \cdot (I_C - I_B) + R_5 \cdot I_C &= 0 \end{aligned} \quad \text{- vyjádření rovnic z obvodu}$$

$$\begin{aligned} S_1: -U_1 + R_1 \cdot I_A + R_2 \cdot I_A - R_2 \cdot I_B &= 0 \\ S_2: R_2 \cdot I_B - R_2 \cdot I_A + R_3 \cdot I_B + R_4 \cdot I_B - R_4 \cdot I_C &= 0 \\ S_3: U_2 + R_4 \cdot I_C - R_4 \cdot I_B + R_5 \cdot I_C &= 0 \end{aligned} \quad \text{- roznásobení závorek}$$

$$\begin{aligned} S_1: (R_1 + R_2) \cdot I_A - R_2 \cdot I_B &= U_1 \\ S_2: (R_2 + R_3 + R_4) \cdot I_B - R_2 \cdot I_A - R_4 \cdot I_C &= 0 \\ S_3: (R_4 + R_5) \cdot I_C - R_4 \cdot I_B &= -U_2 \end{aligned} \quad \text{- sloučení výrazů}$$

$$\begin{aligned} S_1: (5 + 20) \cdot I_A - 20 \cdot I_B &= 5 \\ S_2: (20 + 10 + 20) \cdot I_B - 20 \cdot I_A - 20 \cdot I_C &= 0 \\ S_3: (20 + 10) \cdot I_C - 20 \cdot I_B &= -15 \end{aligned} \quad \text{- dosazení do rovnic}$$

$$\begin{aligned} S_1: 25 \cdot I_A - 20 \cdot I_B &= 5 \\ S_2: 50 \cdot I_B - 20 \cdot I_A - 20 \cdot I_C &= 0 \\ S_3: 30 \cdot I_C - 20 \cdot I_B &= -15 \end{aligned} \quad \text{- sloučení stejných výrazů}$$

$$\begin{aligned} S_1: 5 \cdot I_A - 4 \cdot I_B &= 1 \\ S_2: 50 \cdot I_B - 20 \cdot I_A - 20 \cdot I_C &= 0 \quad /10 \\ S_3: 30 \cdot I_C - 20 \cdot I_B &= -15 \quad /5 \end{aligned} \quad \text{- zjednodušení rovnic}$$

$$5 \cdot I_A - 4 \cdot I_B = 1 \quad \text{- vyjádření proudové smyčky } I_A \text{ pomocí smyčky } I_B$$

$$5I_A = 1 + 4 \cdot I_B$$

$$I_A = \frac{1}{5} + \frac{4}{5} \cdot I_B$$

$$I_C:$$

$$S_2: 2 * \left(\frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_B\right) + 5 * I_B - 2 * I_C = 0$$

- dosazení vyjádřené smyčky I_A

$$S_3: -4 * I_B + 6 * I_C = -3$$

$$2 * \left(\frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_B\right) + 5 * I_B - 2 * I_C = 0$$

- zjednodušení rovnice

$$-\frac{2}{5} - \frac{8}{5} * I_B + 5 * I_B - 2 * I_C = 0$$

$$-\frac{2}{5} + \frac{17}{5} * I_B - 2 * I_C = 0$$

$$-2 + 17 * I_B - 10 * I_C = 0$$

$$17 * I_B - 10 * I_C = 2$$

$$\begin{aligned}17 * I_B - 10 * I_C &= 2 & /*4 \\ -4 * I_B + 6 * I_C &= -3 & /*17\end{aligned}$$

- vynásobení rovnice číslem 4
- vynásobení rovnice číslem 17

$$\begin{aligned}68 * I_B - 40 * I_C &= 8 \\ -68 * I_B + 102 * I_C &= -51 \\ 62 * I_C &= -43 \\ I_C &= -\frac{43}{62} \cong -0,694 \text{ A}\end{aligned}$$

- záporný proud – opačný směr proudu

I_B :

$$\begin{aligned}17 * I_B - 10 * I_C &= 2 \\ 17 * I_B - 10 * \left(-\frac{43}{62}\right) &= 2 \\ 17 * I_B + \frac{215}{31} &= 2 \\ 17 * I_B &= -\frac{153}{31} \\ I_B &= -\frac{9}{31} \cong -0,290 \text{ A}\end{aligned}$$

- dosazení vypočítané proudové smyčky I_C

- záporný proud – opačný směr proudu

I_A :

$$I_A = \frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_B \quad - \text{vyjádření proudové smyčky } I_A \text{ pomocí smyčky } I_B$$

$$I_A = \frac{1}{5} + \frac{4}{5} * \left(-\frac{9}{31}\right)$$

$$I_A = \frac{1}{5} + \left(-\frac{36}{155}\right)$$

$$I_A = -\frac{1}{31} = -0,0323 \text{ A} \quad - \text{záporný proud – opačný směr proudu}$$

Vypočet jednotlivých proudů v obvodu:

$$I_1 = I_A = \frac{1}{31} \cong 0,0323 \text{ A}$$

$$I_2 = I_B - I_A = \frac{9}{31} - \frac{1}{31} = \frac{8}{31} \cong 0,258 \text{ A}$$

$$I_3 = I_B = \frac{9}{31} \cong 0,290 \text{ A}$$

$$I_4 = I_C - I_B = \frac{43}{62} - \frac{9}{31} = \frac{25}{62} \cong 0,403 \text{ A}$$

$$I_5 = I_C = \frac{43}{62} \cong 0,694 \text{ A}$$

Vypočet úbytku napětí na jednotlivých odporech v obvodu:

$$U_{R1} = R_1 * I_1 = 5 * 0,0323 \cong 0,1615 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 * I_2 = 20 * 0,258 \cong 5,16 \text{ V}$$

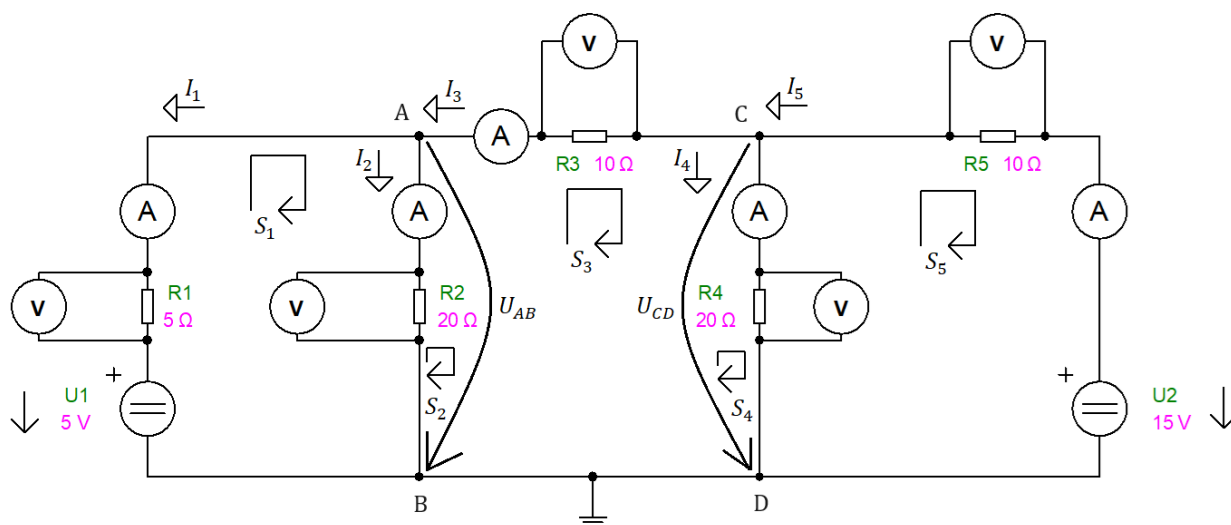
$$U_{R3} = R_3 * I_3 = 10 * 0,290 \cong 2,9 \text{ V}$$

$$U_{R4} = R_4 * I_4 = 20 * 0,403 \cong 8,06 \text{ V}$$

$$U_{R5} = R_5 * I_5 = 10 * 0,694 \cong 6,94 \text{ V}$$

2.3.2 Metoda uzlových napětí

V této metodě jsem opravil směr proudu podle výsledků ze smyčkové metody a zvolil referenční uzel.



Obr. 3 Řešení obvodu pomocí Metody uzlových napětí

$$A: I_3 - I_2 - I_1 = 0$$

$$C: I_5 - I_4 - I_3 = 0$$

- vyjádření uzlů v obvodu

$$S_1: -U_1 - R_1 * I_1 + U_{AB} = 0$$

$$S_2: R_2 * I_2 - U_{AB} = 0$$

$$S_3: -U_{AB} - R_3 * I_3 + U_{CD} = 0$$

$$S_4: R_4 * I_4 - U_{CD} = 0$$

$$S_5: -U_{CD} - R_5 * I_5 + U_2 = 0$$

- vyjádření rovnic z obvodu

$$I_1: \frac{U_{AB}-U_1}{R_1}$$

$$I_2: \frac{U_{AB}}{R_2}$$

$$I_3: \frac{U_{CD}-U_{AB}}{R_3}$$

$$I_4: \frac{U_{CD}}{R_4}$$

$$I_5: \frac{U_2-U_{CD}}{R_5}$$

- vyjádření jednotlivých proudů v obvodu

$$A: \frac{U_{CD}-U_{AB}}{R_3} - \frac{U_{AB}}{R_2} - \frac{U_{AB}-U_1}{R_1} = 0$$

- dosazení do rovnic

$$C: \frac{U_2-U_{CD}}{R_5} - \frac{U_{CD}}{R_4} - \frac{U_{CD}-U_{AB}}{R_3} = 0$$

$$A: \frac{U_{CD}-U_{AB}}{10} - \frac{U_{AB}}{20} - \frac{U_{AB}-5}{5} = 0$$

$$C: \frac{U_2-U_{CD}}{10} - \frac{U_{CD}}{20} - \frac{U_{CD}-U_{AB}}{10} = 0$$

$$\frac{U_{CD}-U_{AB}}{10} - \frac{U_{AB}}{20} - \frac{U_{AB}-5}{5} = 0$$

- vyjádření uzlového napětí U_{CD}

$$2 * (U_{CD} - U_{AB}) - U_{AB} - 4 * (U_{AB} - 5) = 0$$

$$2 * U_{CD} - 2 * U_{AB} - U_{AB} - 4 * U_{AB} + 20 = 0$$

$$2 * U_{CD} - 7 * U_{AB} + 20 = 0$$

$$2 * U_{CD} = 7 * U_{AB} - 20$$

$$U_{CD} = \frac{7}{2} * U_{AB} - 10$$

U_{AB} :

$$U_{CD} = \frac{7}{2} * U_{AB} - 10$$

$$\frac{15 - U_{CD}}{10} - \frac{U_{CD}}{20} - \frac{U_{CD} - U_{AB}}{10} = 0$$

- dosazení uzlového napětí U_{CD}

$$15 - \left(\frac{7}{20} * U_{AB} - 10 \right) - \frac{7}{2} * U_{AB} - 10 - \frac{7}{2} * U_{AB} - 10 - U_{AB} = 0$$

$$15 - \frac{7}{2} * U_{AB} + 10 - \frac{7 * U_{AB} - 20}{2} - \frac{7 * U_{AB} - 20 - 2U_{AB}}{2} = 0$$

$$25 - \frac{7}{2} * U_{AB} - \frac{7 * U_{AB} - 20}{2} - \frac{5 * U_{AB} - 20}{2} = 0$$

$$25 - \frac{7}{2} * U_{AB} - \frac{7 * U_{AB} - 20}{2} - \frac{5 * U_{AB} - 20}{2} = 0$$

$$50 - 7 * U_{AB} - \frac{7 * U_{AB} - 20}{2} - \frac{5 * U_{AB} - 20}{2} = 0$$

$$2 * (50 - 7 * U_{AB}) - (7 * U_{AB} - 20) - 2 * (5 * U_{AB} - 20) = 0$$

$$100 - 14 * U_{AB} - 7 * U_{AB} + 20 - 10 * U_{AB} + 40 = 0$$

$$160 - 31 * U_{AB} = 0$$

$$-31 * U_{AB} = -160$$

$$U_{AB} = \frac{160}{31}$$

U_{CD} :

$$U_{CD} = \frac{7}{2} * U_{AB} - 10$$

$$U_{CD} = \frac{7}{2} * \frac{160}{31} - 10$$

$$U_{CD} = \frac{250}{31}$$

Vypočet jednotlivých proudů v obvodu:

$$I_1: \frac{U_{AB} - U_1}{R_1} = \frac{\frac{160}{31} - 5}{5} = \frac{1}{31} \cong 0,0323 \text{ A}$$

$$I_2: \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{\frac{160}{31}}{20} = \frac{8}{31} \cong 0,258 \text{ A}$$

$$I_3: \frac{U_{CD} - U_{AB}}{R_3} = \frac{\frac{250}{31} - \frac{160}{31}}{10} = \frac{9}{31} \cong 0,290 \text{ A}$$

$$I_4: \frac{U_{CD}}{R_4} = \frac{\frac{250}{31}}{20} = \frac{25}{62} \cong 0,403 \text{ A}$$

$$I_5: \frac{U_2 - U_{CD}}{R_5} = \frac{15 - \frac{250}{31}}{10} = \frac{43}{62} \cong 0,694 \text{ A}$$

Vypočet úbytku napětí na jednotlivých odporech v obvodu:

$$U_{R1} = R_1 * I_1 = 5 * 0,0323 = 0,1615 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 * I_2 = 20 * 0,258 = 5,16 \text{ V}$$

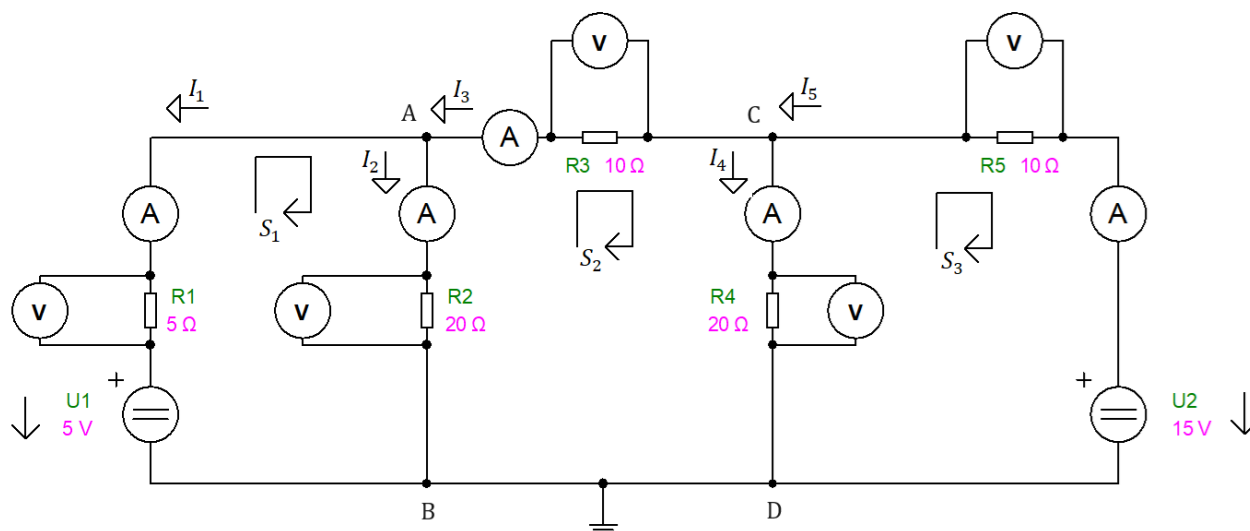
$$U_{R3} = R_3 * I_3 = 10 * 0,290 = 2,9 \text{ V}$$

$$U_{R4} = R_4 * I_4 = 20 * 0,403 = 8,06 \text{ V}$$

$$U_{R5} = R_5 * I_5 = 10 * 0,694 = 6,94 \text{ V}$$

2.3.3 Metoda Kirchhoffových zákonů

Obr. 4 Řešení obvodu pomocí Kirchhoffových zákonů



$$A: I_2 = I_3 - I_1$$

$$C: I_4 = I_5 - I_3$$

- vyjádření uzlů v obvodu

$$S_1: -U_1 - R_1 * I_1 + R_2 * I_2 = 0$$

$$S_2: -R_2 * I_2 - R_3 * I_3 + R_4 * I_4 = 0$$

$$S_3: -R_4 * I_4 - R_5 * I_5 + U_2 = 0$$

- vyjádření rovnic z obvodu

$$S_1: -R_1 * I_1 + R_2 * I_2 = U_1$$

$$S_2: -R_2 * I_2 - R_3 * I_3 + R_4 * I_4 = 0$$

$$S_3: -R_4 * I_4 - R_5 * I_5 = U_2$$

$$S_1: -5 * I_1 + 20 * (I_3 - I_1) = 5$$

- dosazení do rovnic

$$S_2: -20 * (I_3 - I_1) - 10 * I_3 + 20 * (I_5 - I_3) = 0$$

$$S_3: -20 * (I_5 - I_3) - 10 * I_5 = -15$$

$$S_1: -25 * I_1 + 20 * I_3 = 5$$

$$S_2: 20 * I_1 - 50 * I_3 + 20 * I_5 = 0$$

$$S_3: 20 * I_3 - 30 * I_5 = -15$$

$$S_1: -5 * I_1 + 4 * I_3 = 1$$

$$S_2: 2 * I_1 - 5 * I_3 + 2 * I_5 = 0$$

$$S_3: 4 * I_3 - 6 * I_5 = -3$$

$$5 * I_1 - 4 * I_3 = 1$$

- vyjádření proudu smyčky I_1

$$5I_1 = 1 + 4 * I_3$$

$$I_1 = \frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_3$$

$$I_1 = \frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_3$$

- dosazení vyjádřené smyčky I_A

$$S_2: 2 * I_1 - 5 * I_3 + 2 * I_5 = 0$$

$$S_3: 4 * I_3 - 6 * I_5 = -3$$

Vypočet jednotlivých proudů v obvodu:

I_3 :

$$2 * \left(-\frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_3 \right) - 5 * I_3 + 2 * I_5 = 0$$

$$4 * I_3 - 6 * I_5 = -3$$

$$-17 * I_3 + 10 * I_5 = 2 \quad /*3$$

- rovnice vynásobená číslem 3

$$4 * I_3 - 6 * I_5 = -3 \quad /*5$$

- rovnice vynásobená číslem 5

$$-51 * I_3 + 30 * I_5 = 6$$

$$20 * I_3 - 30 * I_5 = -15$$

$$30 * I_5 = 6 + 51 * I_3$$

- vyjádření z rovnice I_5

$$20 * I_3 - 30 * I_5 = -15$$

$$20 * I_3 - (6 + 51 * I_3) = -15$$

- dosazení do rovnice za I_5

$$20 * I_3 - 6 - 51 * I_3 = -15$$

$$-31 * I_3 - 6 = -15$$

$$-31 * I_3 = -9$$

$$I_3 = \frac{9}{31} \cong 0,290 \text{ A}$$

I_5 :

$$20 * I_3 - 30 * I_5 = -15$$

$$20 * \frac{9}{31} - 30 * I_5 = -15$$

$$\frac{180}{31} - 30 * I_5 = -15$$

$$-30 * I_5 = -15 - \frac{180}{31}$$

$$-30 * I_5 = -\frac{645}{31}$$

$$I_5 = \frac{43}{62} \cong 0,694 \text{ A}$$

I_1 :

$$I_1 = -\frac{1}{5} + \frac{4}{5} * I_3$$

$$I_1 = -\frac{1}{5} + \frac{4}{5} * \frac{9}{31}$$

$$I_1 = \frac{1}{31} \cong 0,0323 \text{ A}$$

I_4 :

$$I_4 = I_5 - I_3$$

$$I_4 = \frac{43}{62} - \frac{9}{31} = \frac{25}{62} \cong 0,403 \text{ A}$$

I_2 :

$$I_2 = I_3 - I_1$$
$$I_2 = \frac{9}{31} - \frac{1}{31} = \frac{8}{31} \cong 0,258 \text{ A}$$

Vypočet úbytku napětí na jednotlivých odporech v obvodu:

$$U_{R1} = R_1 * I_1 = 5 * 0,0323 = 0,1615 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 * I_2 = 20 * 0,258 = 5,16 \text{ V}$$

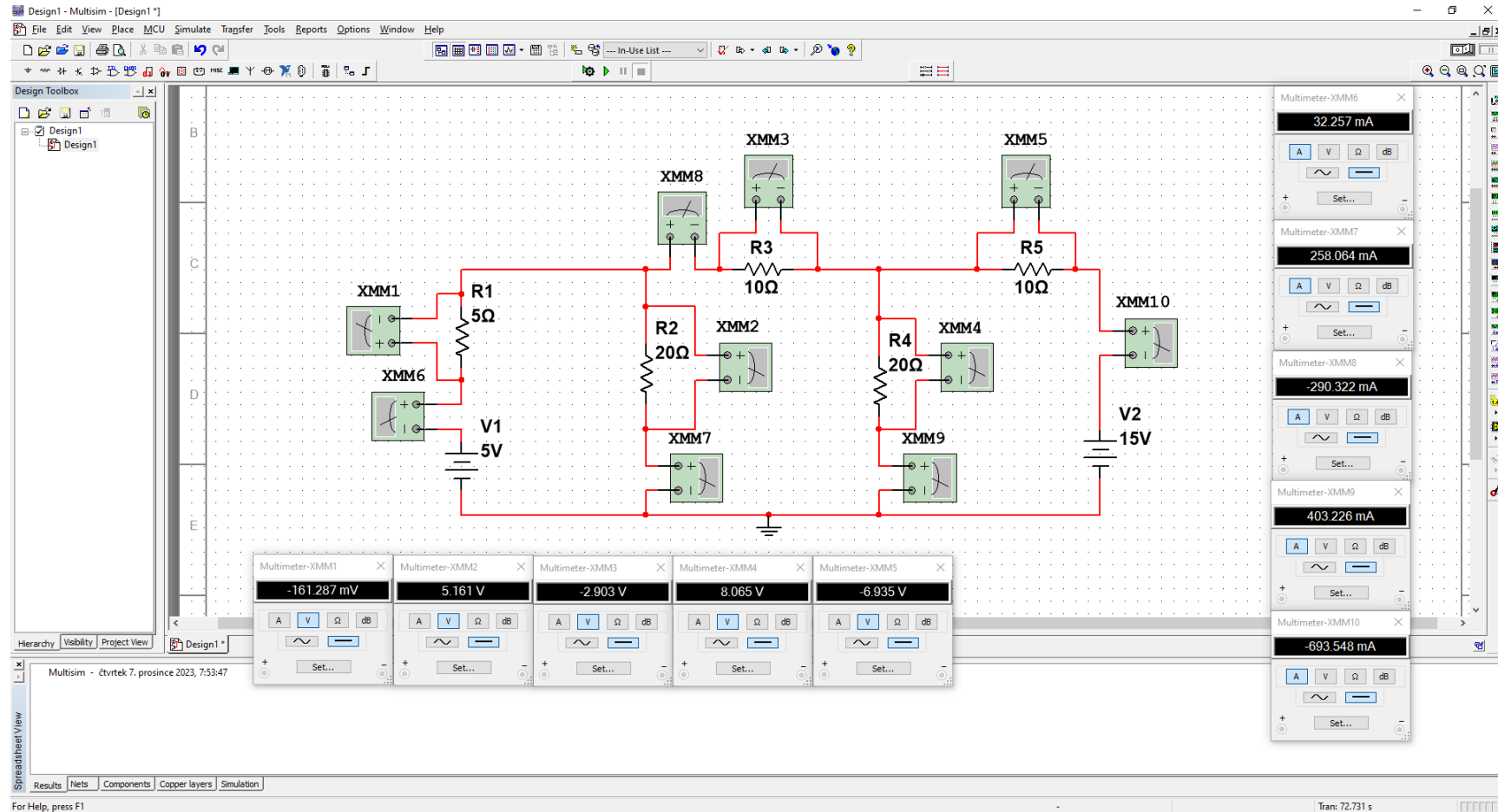
$$U_{R3} = R_3 * I_3 = 10 * 0,290 = 2,9 \text{ V}$$

$$U_{R4} = R_4 * I_4 = 20 * 0,403 = 8,06 \text{ V}$$

$$U_{R5} = R_5 * I_5 = 10 * 0,694 = 6,94 \text{ V}$$

3. Ověření výpočtu v programu Multisim

V programu Multisim jsem sestavil obvod dle zadání a ověřil výpočty jednotlivých proudů a napětí viz Obr. 5.

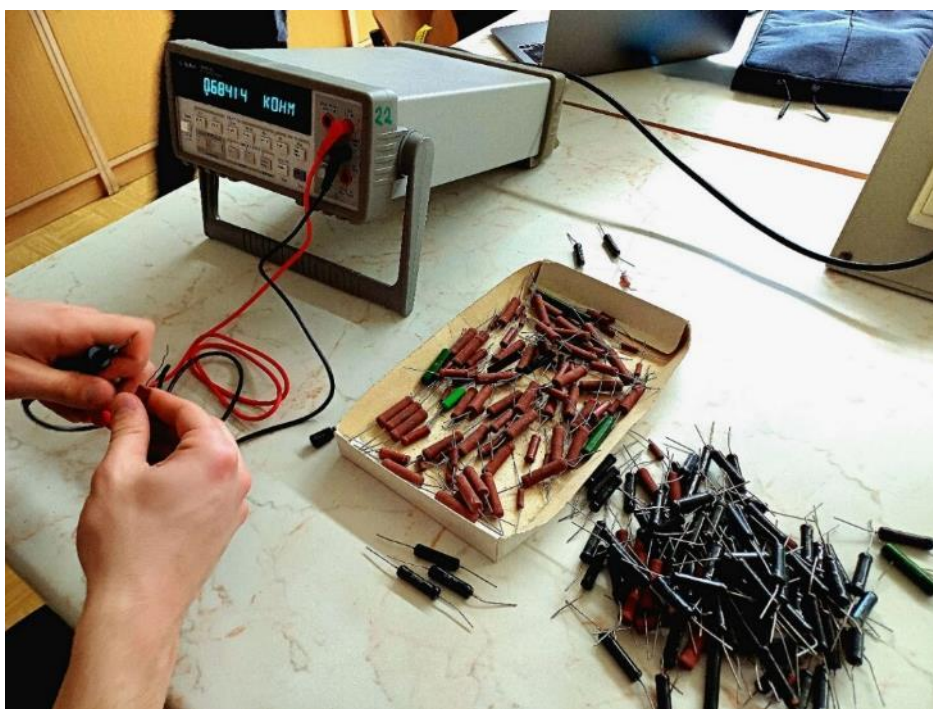


Obr. 5 Sestavení obvodu v programu Multisim

4. Realizace měřícího přípravku

4.1 Návrh součástek

V měřícím přístroji Agilent jsem proměřil dané odpory, abych vybral co nejkvalitnější součástky z hlediska jmenovité hodnoty, výkonového zatížení a tolerance pro montáž na kontaktní pájivé pole viz Obr. 6. Z důvodu kolísání teplot na součástkách bude docházet k chybám měření. Pro eliminaci těchto chyb by mohl být obvod doplněn pasivním chlazením.



Obr. 6 Výběr s přístrojem

součástek
Agilent

4.2 Realizace plošného spoje

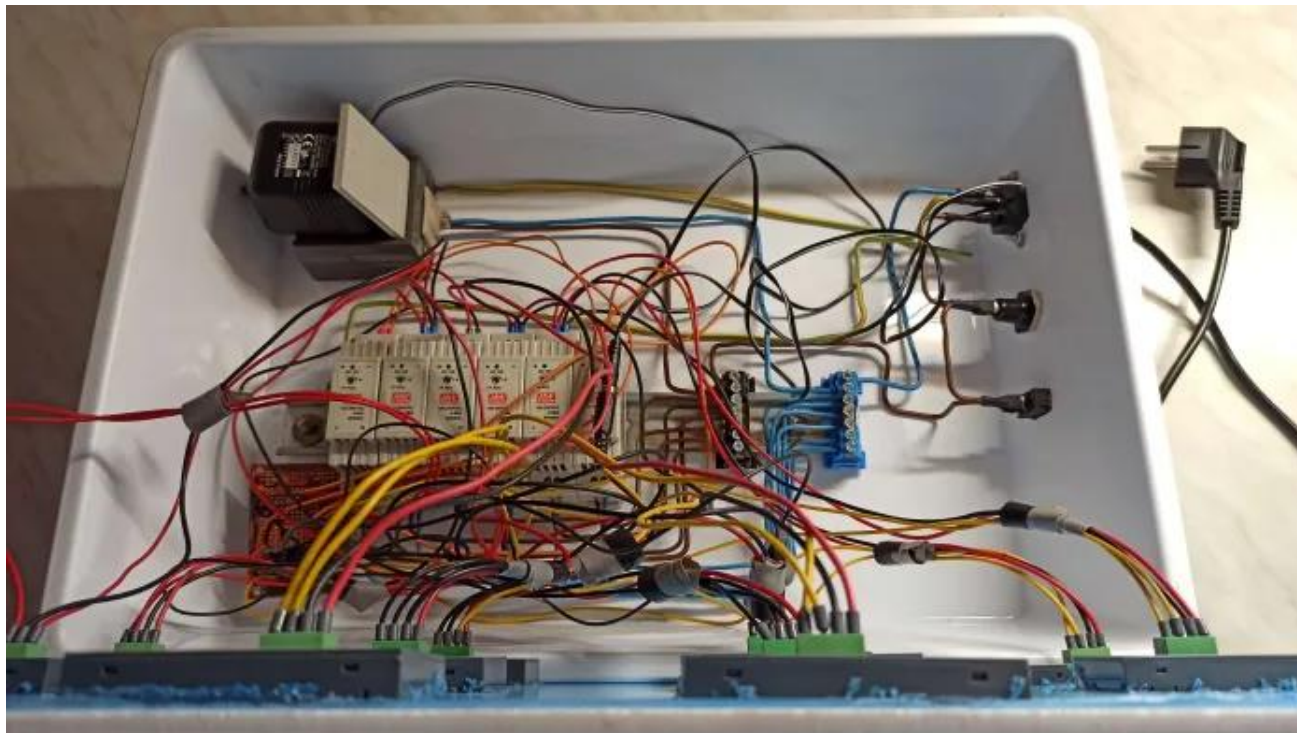
Jako desku plošného spoje jsem použil typ PCB Universal Board 5 cm x 7 cm. Osadil jsem ji rezistory typu TR 210 a TR 510 o velikost $10\ \Omega$ a $20\ \Omega$ s tolerancí 5 % a maximálním výkonem 4 a 6 W. Obvod jsem sestavil dle schématu. Poté jsem jednotlivé odpory napájel na kontaktní pole a dále napájel propojovací kabely k měřícím ampérmetrům a voltmetrům viz Obr. 7.

Měřicí přístroje jsou typu WPB5035A. K propojení jsem použil kabely s průměrem 18AVG ($0,8\ \text{mm}^2$). Plošný spoj je osazen na DIN liště a upevněn pomocí držáku vyrobený na 3D tiskárně.

4.3 Zdroje

Pro napájení jednotlivých přístrojů a plošného spoje jsem zvolil nastavitelné zdroje typu DR-15 s jmenovitou hodnotou 5 V, 12 V, 15 V. Jednotlivé zdroje jsou osazeny na společné DIN liště. Dále jsou zdroje připojeny k síti pomocí jednotlivých svorkovnic a instalovány propojovací kabely od zdrojů k jednotlivým měřicím přístrojům. Přípravek je pro správnou funkčnost a bezpečnost osazen napájecím konektorem 230 V 50 Hz, zapínacím tlačítkem a ochrannou pojistku viz Obr. 7.

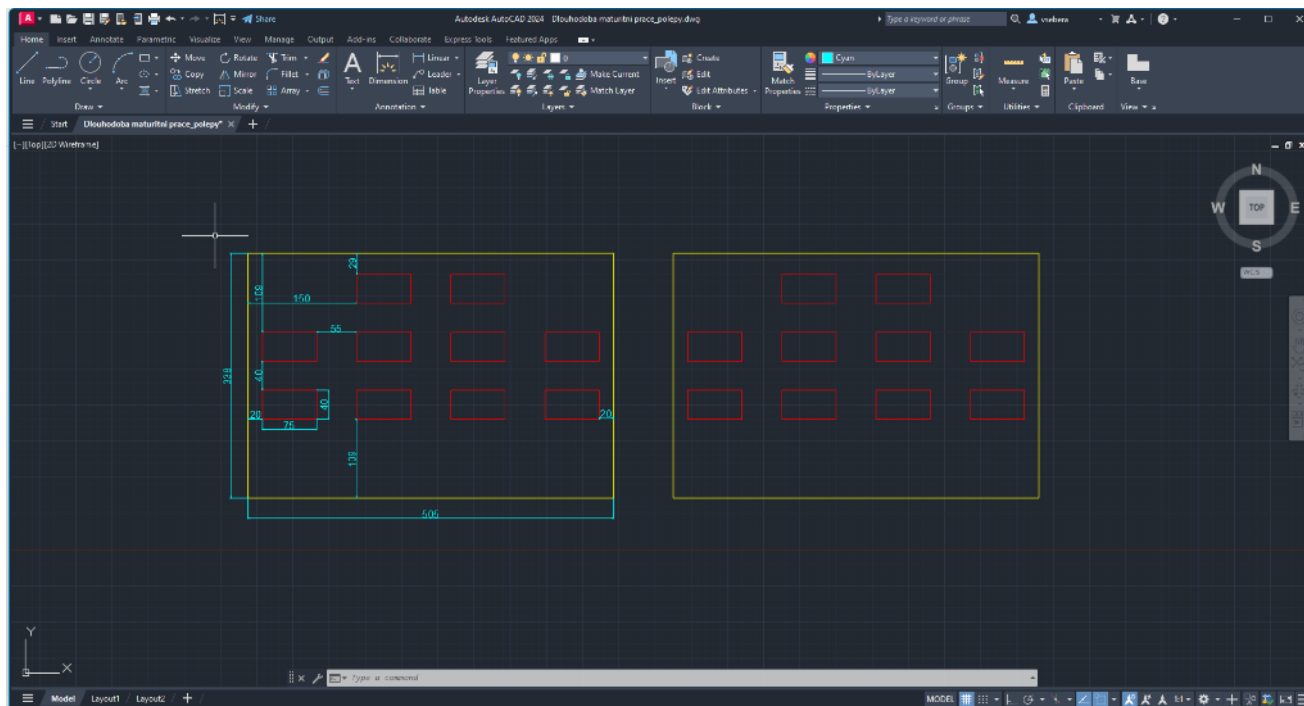
Obr. 7 Realizace měřícího přípravku



4.4 Frézování plexiskla pomocí frézy Mikronex

V programu AutoCAD jsem navrhl desku plexiskla s jednotlivými výřezy pro měřící přístroje a vyfrézoval plexisklo na fréze Mikronex viz Obr. 8.

Obr. 8 Návrh desky v prostředí Autodesk AutoCAD



4.4.1 Vytvoření programu v prostředí CNC Mikronex a vyfrézování desky

Princip frézy spočívá v nadefinování tříosého posunu pomocí os x, y, z. Na těchto osách pojíždí fréza a vykonává naprogramované úkony. Pomocí těchto znalostí jsem vytvořil program na vyříznutí otvoru pro měřící přístroj. Volil jsem zde nástroj o průměru 7 mm pro snadné nastavení. Dále jsem pro šetrnější frézování materiálu zvolil menší otáčky a postupný frézování materiálem viz Obr. 9.

4 Realizace měřicího přípravku

Ukázka programu

N10	G0	X0	Y0	Z100	
N20	G0	X0	Y0	Z1	
N30	M6				T7
N40	M3				S700
N50	G1	X0	Y0	Z-3	F100
N60	G1	X68	Y0		F200
N70	G1	X68	Y33		
N80	G1	X0	Y33		
N90	G1	X0	Y0		
N100	G1			Z-6	F100
N110	G1	X68	Y0		F200
N120	G1	X68	Y33		
N130	G1	X0	Y33		
N140	G1	X0	Y0		
N150	G0	Z100			
N160	M30				

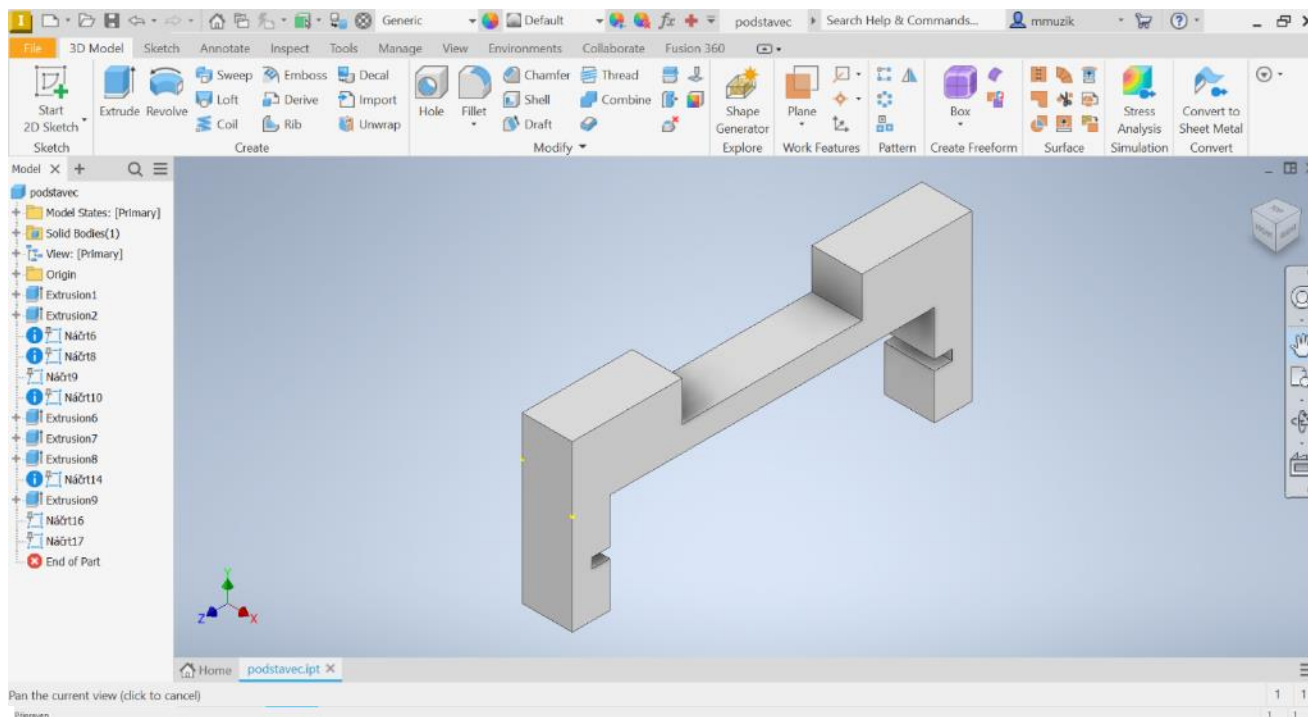
Obr. 9 Proces frézování desky



4.5 3D tisk

Pro výrobu držadla plošného spoje a podstavných nohou jsem zvolil metodu 3D tisku, z důvodu jednoduchosti a praktičnosti. V programu Autodesk Inventor jsem vymodeloval jednotlivé montážní prvky a vytiskl na 3D tiskárně viz Obr. 10 a Obr. 11.

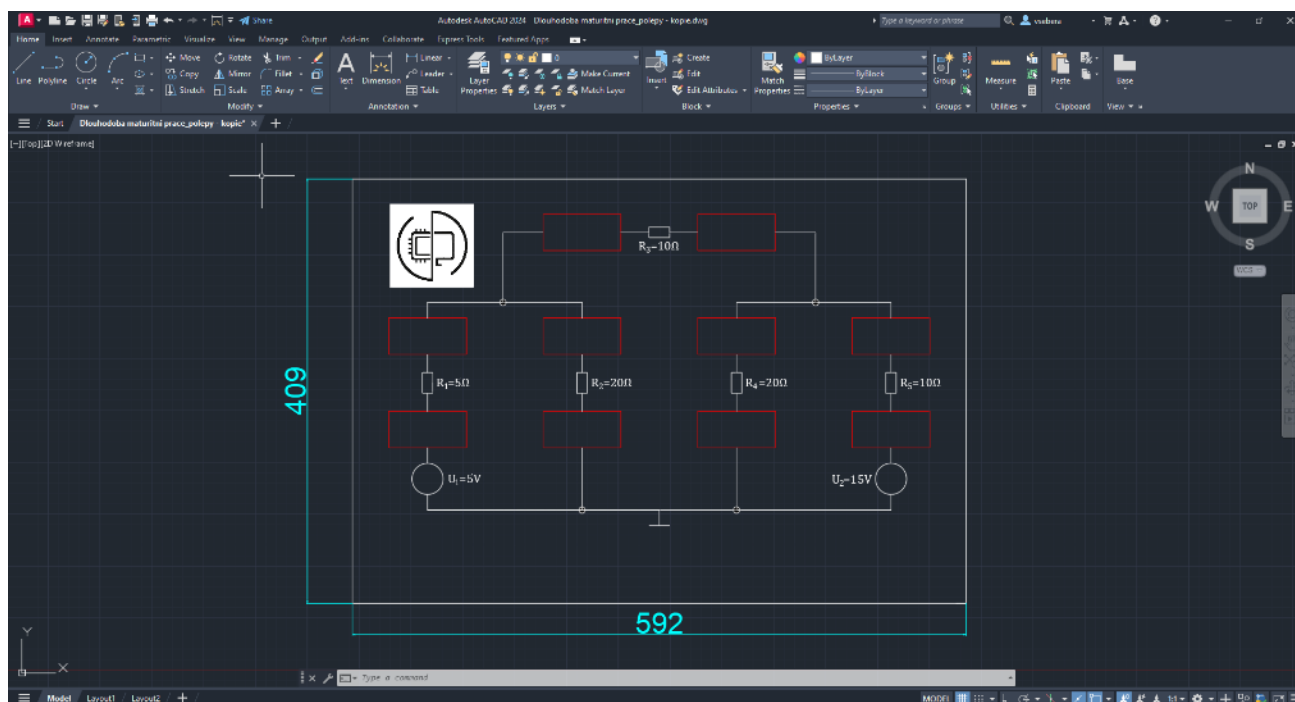
Obr. 10 Model podstavné nohy



Obr. 11 Model držadla plošného spoje

4.6 Polepy na plexisklo

Pro vytvoření podkladu pro samolepící folii na vrchní část výrobku jsem pro tvorbu návrhu polepu využil AutoCAD, z důvodu snadné manipulace a dosažení přesného výrobku. Poté byl polep zhotoven vytištěním na tiskárně.



Obr. 12 Návrh polepu na vrchní část výrobku

Funkční výrobek

Měřicí přípravek prakticky aplikuje jednotlivé metody pro řešení elektrických obvodů. Celý obvod je s použitím 3D tisku osazen na DIN liště s jednotlivými zdroji a svorkovnicemi. Z důvodu ovlivňování napájení měřicích přístrojů je zde přidán externí zdroj pro zajištění přesného měření. Finální produkt je přenosný uzavřený výrobek s pevným schématem zapojení. Na čelní stěně instalační krabice je vytvořen podklad pro samolepicí folii s osazenými měřicími přístroji ukazující jednotlivé proudy a napětí, viz. Obr. 13.

Obr. 13 Funkční výrobek



Závěr

Maturitní práce se zabývá analýzou elektrického obvodu a řešení problematiky smyčkových proudů a uzlových napětí. V úvodu je popsán teoretický rozbor jednotlivých metod a v další části jsou tyto metody aplikovány na konkrétním obvodu. V poslední teoretické části jsou tyto metody doplněny výpočty a ověřeny v programu Multisim. Na základě těchto výpočtů a simulace byl navrhnout a vyroben měřicí přípravek pro měření elektrických veličin v elektrickém obvodu.

Druhá polovina práce se zabývá praktickým návrhem přípravku a následnou realizací. Návrh plošného spoje se zabývá návrhem celého obvodu se zdroji, měřicími ampérmetry a voltmetry měřicími rozdělení napětí a proudů na jednotlivých částech obvodu. V první části návrhu jsou jednotlivé součástky proměřeny pro dosažení výběru kvalitních součástek. Dále je vyroben plošný spoj, pájení jednotlivých odporů s propojovacími kabely a napájení a sestavování celého obvodu na DIN lištu. Plošný spoj je doplněn montážními prvky za využití moderních přístupů jako je například 3D tisk. Jednotlivé prvky jsou vymodelovány v programu Inventor a poté vytisknuty na 3D tiskárně. Dále je vyrobena vrchní část výrobku z akrylátového skla. V programu AutoCAD je vyprojektován náhled s jednotlivými otvory pro měřicí přístroje, které jsou poté vyfrézovány pomocí programu na CNC. Nakonec je pomocí programu AutoCAD vypracován na čelní straně instalační krabice potisk, který je poté zhotoven formou vytištění.

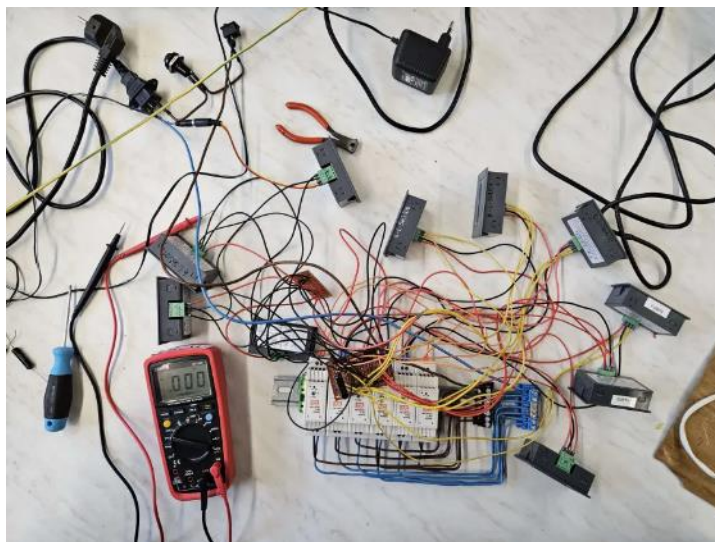
Seznam obrázků

- Obr. 1 Schéma obvodu v programu ProfiCAD
- Obr. 2 Řešení obvodu pomocí Metody smyčkových proudů
- Obr. 3 Řešení obvodu pomocí Metody uzlových napětí
- Obr. 4 Řešení obvodu pomocí Kirchhoffových zákonů
- Obr. 5 Sestavení obvodu v programu Multisim
- Obr. 6 Výběr součástek s přístrojem Agilent
- Obr. 7 Realizace měřicího přípravku
- Obr. 8 Náskres desky v prostředí Autodesk AutoCAD
- Obr. 9 Proces frézování desky
- Obr. 10 Model podstavné nohy
- Obr. 11 Model držadla plošného spoje
- Obr. 12 Návrh polepu na vrchní část výrobku
- Obr. 13 Funkční výrobek

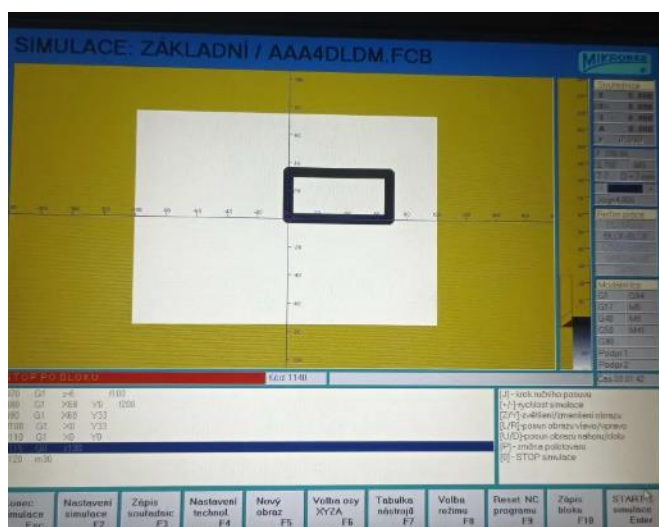
Seznam použité literatury

[1] BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika I*. Šesté, nezměněné vydání. Praha: Informatorium, 2016. ISBN 978-80-7333-123-8.

Příloha



Test funkčnosti měřicího přípravku



režim simulace CNC



Realizace montážních prvků pomocí 3D tiskárny