

Středoškolská odborná činnost 2011/2012

Obor 12 - Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

## Model asynchronního motoru

### Indukční pec

Autor:

Vojtěch Doležel

Martin Hamáček

VOŠ a SPŠE Plzeň

Koterovská 85

326 00 Plzeň

Konzultant práce: Ing. Karel Hajžman

VOŠ a SPŠE Plzeň

Plzeň 2012

## ANOTACE

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí asynchronního trojfázového motoru, sinusového generátoru o kmitočtu 0,5Hz a zesilovače. Dále se práce zabývá konstrukcí modelu indukční pece.

Klíčová slova: symetrický stabilizovaný zdroj; asynchronní trojfázový motor; indukční pec; závit na krátko; TL 082; fázový posun.

## ANNOTATION

This work is concerned with proposal and construction of asynchronous three-phase motor, 0,5 Hz sine wave generator and amplifier. This work also examines the construction of induction furnace.

Key words: Symmetric stabilized power supply; asynchronous three-phase motor; induction furnace; short thread; TL 082; phase shift.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašujeme, že jsme tuto práci vypracovali samostatně a použili jsme literárních pramenů a informací, které uvádíme v seznamu použité literatury.

V Plzni dne: 15.03.2012

Podpis:.....

## Model asynchronního motoru



## Indukční pec



# Obsah

Obsah	4
Úvod	7
1.1) Základní popis modelu asynchronního motoru	8
1.2) Wienův oscilátor	9
1.3) Obvody zajišťující fázový posun	10
1.4) Koncový zesilovací stupeň	12
1.5) Použitý integrovaný obvod	12
1.5) Návrh transformátoru	13
2) Indukční pec	14
3) Konstrukční provedení	15
3.1) Model asynchronního motoru	15
3.2) Model indukční pece	18
4) Závěr	19
Příloha A – Schéma celého oscilátoru	20
Příloha B – Schéma napájení pro oscilátor	21
Příloha C – Schéma celého přípravku	22
Příloha D – Pracovní schéma pro návrh desky plošeného spoje	23
Příloha E – Deska plošeného spoje s viditelnými součástkami	24
Příloha F – Deska plošeného spoje pro fotocestu	25
Příloha G – Schéma připojení LED diod a jednocestného trojfázového usměrňovače k výstupu	
koncových zesilovačů	26
Příloha H – Čelní strana panelu pro model asynchronního motoru	27
Příloha I – Horní stěna panelu pro model asynchronního motoru	28
Příloha J – Dolní strana panelu pro model asynchronního motoru	29
Příloha K – Zadní strana panelu pro model asynchronního motoru	30

Příloha L – Boční strana panelu pro model asynchronního motoru	31
Příloha M – Mezikruží asynchronního motoru	32
Příloha N – Mezikruží asynchronního motoru	33
Příloha O – Schéma indukční pece	34
Příloha P – Čelní strana panelu pro model indukční pece	35
Příloha Q – Dolní část panelu pro model indukční pece	36
Příloha R – Boční stěna panelu pro model indukční pece	37
Příloha S – Signál za jednocestným trojfázovým usměřňovačem	38
Příloha T	39
Příloha U	43
Příloha V	48
Příloha W	50

## Poděkování

V tomto odstavci bychom rádi poděkovali Janu Doleželovi za udílení četných rad v problematice konstrukčního provedení a za celkovou podporu během konstrukce této práce. Dále děkujeme firmě ELFITO – Jiří Tolar za rady ohledně navinutí motoru a za možnost navíjení v dílně k tomu účelu vybavené.

## Úvod

Model trojfázového asynchronního motoru, který má demonstrovat vznik magnetického točivého pole, a indukční pec, jež jsou předmětem této práce vznikly z důvodu požadavku školy VOŠ a SPŠE PLZEŇ na učební pomůcky, pro vysvětlení magnetického pole.

Aby byl model trojfázového asynchronního motoru vhodný pro výuku, byla hlavním požadavkem velmi nízká frekvence otáčení. Jako generátor sinusového průběhu s nízkou frekvencí jsme zvolily oscilátor s Wienovo článkem. Jelikož jde o demonstraci trojfázového motoru přípravek obsahuje obvody, jež fázově posouvají signál z oscilátoru. Pro napájení aktivních součástí jsme použily lineární stabilizovaný zdroj.

Primární vynutí indukční pece, jež slouží k připojení do sítě, obsahuje 655 závitů. Sekundární vynutí tvoří kruhovitá nádoba, která slouží k ohřevu vloženého materiálu. Tato kruhovitá nádoba představuje jeden závit, kterým dle transformačního poměru prochází velmi vysoký proud.

Součástí práce je:

- Praktické výrobky včetně šasí
- Návrh desky plošného spoje v programu FORMICA
- Zadání pro měřicí úlohy
- Technické výkresy výrobků
- Dokumentace v souladu se zásadami zpracování 7i

## 1.1) Základní popis modelu asynchronního motoru

Model asynchronního motoru lze rozdělit na dvě části. První část slouží ke generování trojfázového signálu o potřebné frekvenci. Jádrem této části je Wienův oscilátor, jenž kmitá na frekvenci 0,5 Hz. Wienův oscilátor je realizovaný pomocí operačního zesilovače TL 082. Z důvodu stability jsou zde použity fóliové kondenzátory. Signál, jenž je vygenerován tímto oscilátorem, je příliš slabý, a proto je zesílen pomocí dalšího operačního zesilovače TL 082. Jelikož je předmětem naší práce trojfázový motor je nutné mít tři signály navzájem posunuty o  $120^\circ$ . Pro tento účel jsme použily RC články. První fáze je ponechána beze změny. Druhá fáze je pomocí dvou derivačních RC článku posunuta o  $+120^\circ$ . Třetí fáze je pomocí dvou integračních RC článku posunuta o  $-120^\circ$ . Jako předzesilovač byly použity operační zesilovače TL 082 v neinvertujícím zapojení. Koncové výkonové zesilovače jsou realizován pomocí výkonových tranzistorů KD 503 a KD 517. Jelikož zde nejsou vysoké nároky na linearitu, tranzistory zesilovače pracují ve třídě B.

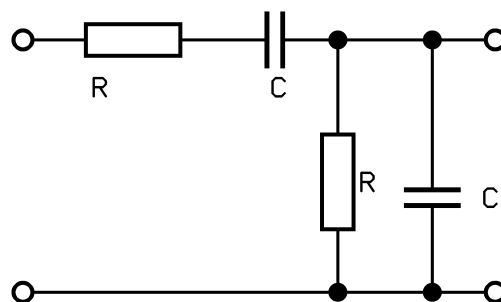


## 1.2) Wienův oscilátor

Pro splnění oscilace je nutné splnit dvě základní podmínky. První podmínka (amplitudová) je splněna pokud je součin přenosu a činitele zpětné vazby roven právě jedné ( $A\beta = 1$ ). Druhá podmínka (fázová) je splněna pokud je fázový posun roven nule nebo násobku  $360^\circ$  ( $\varphi = k \cdot 360^\circ$ , kde  $k$  je celé číslo).

Základem wienova oscilátoru je wienův článek, kde mají oba rezistory a kondenzátory stejnou hodnotu. Wienův článek má při mezní frekvenci přenos roven jedné třetině a fázový posun roven

nule ( $A = \frac{1}{3}$  ;  $\varphi = 0$  ).

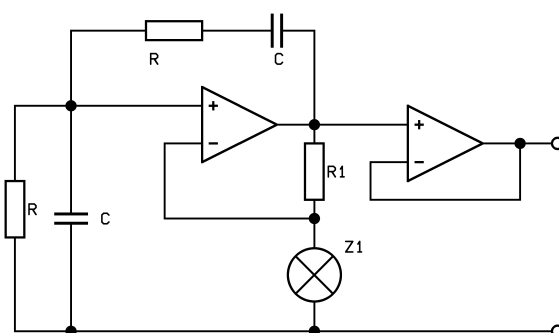


Obr. 1: Wienův článek

Wienův článek zde tvoří kladnou zpětnou vazbu s nulovým fázovým posunem. Napěťový přenos

$\frac{1}{3}$  je zde činitelem zpětné vazby

$\beta$ . Pro splnění amplitudové podmínky musí být tedy přenos operačního zesilovače roven třem. Na Obr.2 je znázorněn i s zesilovačem.



Obr. 2: Wienův oscilátor s předzesilovačem

Jelikož byl hlavním požadavkem na náš oscilátor nízká frekvence, jenž činila 0,5 Hz, bylo nutné zvolit vysokou hodnotu kapacity kondenzátoru, aby nebyla reaktance příliš vysoká.

Námi zvolená hodnota kondenzátoru je 2,2  $\mu\text{F}$ .

$R$  spočítáme jednoduše jelikož při mezní frekvenci platí:  $R = X_C$ .

$$R = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}} = 144686,3 \Omega$$

Zápornou zpětnou vazbu jsme vyřešili dle známého zapojení s žárovkou, kde se žárovka chová jako termistor. Jedná se o nejjednodušší řešení stability oscilátoru. Jelikož by byl signál z oscilátoru příliš slabý, rozhodli jsme se signál zesílit pomocí jednoduchého zapojení s OZ.

### 1.3) Obvody zajišťující fázový posun

Jelikož jde v naší práci o model trojfázového motoru, je nutné mít tři signály posunuté o  $120^\circ$ . Toho je zde zajištěno derivačními a integračními RC články.

Pro posun o  $+120^\circ$  jsme zvolili dva derivační RC články, z nichž každý posouvá fázi o  $60^\circ$ . Jelikož napětí na rezistoru přímo odpovídá proudu, jím procházejícím. Zpoždění mezi napětím a proudem, jednotlivých článků, musí být roven právě  $60^\circ$ .

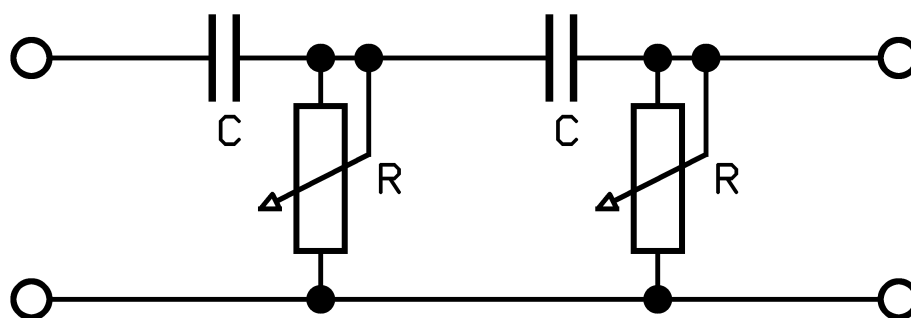
Pro fázový posun obecně platí

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\{Im\}Z}{\{Re\}Z} = \frac{X_c}{R} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi fC R} \quad (1)$$

Hodnotu kondenzátoru C jsme opět zvolily  $2,2 \mu\text{F}$ .

$$\operatorname{tg} 60^\circ = \frac{1}{2\pi \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} R} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \sqrt{3}} = 83534,68 \Omega \quad (3)$$



Obr. 3: Dva derivační RC články; posun  $+120^\circ$

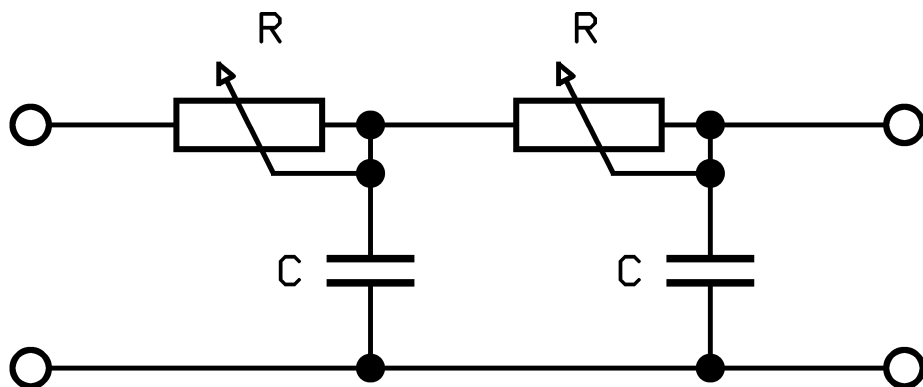
Pro posun  $0 - 120^\circ$  jsme zvolili dva integrační RC články, z nichž každý posouvá fázi  $0 - 60^\circ$ . Jelikož se napětí na kondenzátoru zpožďuje o  $90^\circ$  oproti proudu, musí být fázový posun mezi napětím a proudem  $30^\circ$ .

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{Im} Z}{\operatorname{Re} Z} = \frac{X_c}{R} = \frac{1}{2\pi fC R} = \frac{1}{2\pi fC R} \quad (1)$$

Pro výpočet opět dosadíme do vzorce (1),  $\varphi = 30^\circ$ .

$$\operatorname{tg} 30 = \frac{1}{2\pi \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} R} \quad (2)$$

$$R = \frac{3}{2\pi \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \sqrt{3}} = 250604 \Omega \quad (3)$$



Obr. 4: Dva integrační RC články; posun  $+120^\circ$

## 1.4) Koncový zesilovací stupeň

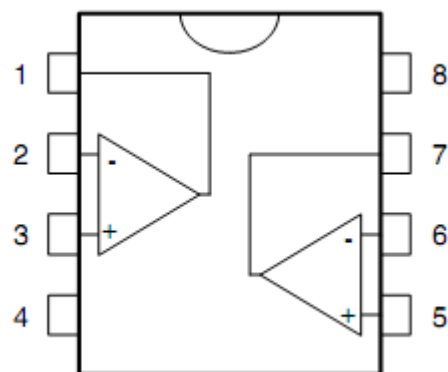
Jako koncový předzesilovací stupeň jsou opět použity integrované obvody TL 082. Kromě předzesílení signálu také slouží k dorovnání všech fází na stejnou napěťovou úroveň, čehož je docíleno různými zpětnými vazbami.

Za předzesilovači jsou výkonové tranzistory. NPN tranzistor KD 503 zesiluje kladné půlvlny a PNP tranzistor KD 517 zesiluje záporné půlvlny.

## 1.5) Použitý integrovaný obvod

Pro zesilovače a Wienův oscilátor jsme použily integrované obvody TL 082. IO TL 082 obsahuje dva na sobě nezávislé operační zesilovače se společným napájením. Vnitřní schéma integrovaného obvodu je vidět na Obr. 5.

Pin 1 -	Výstup 1
Pin 2 -	Invertující vstup 1
Pin 3 -	Neinvertující vstup 1
Pin 4 -	-Ucc
Pin 5 -	Neinvertující vstup 2
Pin 6 -	Invertující vstup 2
Pin 7 -	Výstup 2
Pin 8 -	+Ucc



Obr. 5: Vnitřní zapojení IO – TL 082

Námi použitý IO má typické pouzdro – DIP 8.

## 1.5) Návrh transformátoru:

Požadavky:  $U_1 = 230V$

$U_2 = 2 \times 20V$

$I_2 = 2 \times 500mA$

- ze sekundárního napětí a sekundárního proudu jsme vypočítali výkon transformátoru

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 2 \cdot 20 \cdot 0,5 = 20W \quad (1)$$

- účinnost jsme u námi zvoleného transformátoru uvažovali  $\eta = 80\%$
- z výkonu a účinnosti jsme vypočítali příkon transformátoru

$$P_2 = P_1 \cdot \eta \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{20}{0,8} = 25W \quad (2)$$

- z příkonu a primárního napětí transformátoru jsme vypočítali primární proud

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 0,11 A \quad (3)$$

- podle tabulek jsme určili minimální průměr drátu pro primární vinutí

$$d_{\text{prim}} = 0,25 \text{ mm}$$

- z požadovaného sekundárního proudu a tabulek jsme určili průměr drátu pro sekundární vinutí

$$d_{\text{sec}} = 0,5 \text{ mm}$$

- z empirického vztahu (4) jsme vypočítali průřez magnetického obvodu

$$P = P_1^2 \text{ W ; cm}^2 \quad (4)$$

$$S = \sqrt{P_1} = 5 \text{ cm}^2$$

- použitím dalšího empirického vztahu (5) jsme vypočítali počet závitů potřebných pro naindukování napětí 1V

$$N = \frac{45}{S} \Rightarrow N = \frac{45}{5} = 9 \frac{z}{V} \quad (5)$$

- podle vztahu jsme vypočítali počet závitů potřebných k naindukování požadovaného napětí

$$N_1 = U_1 \text{ codt } N = 230 \cdot 9 = 2070 \quad (6)$$

$$N_2 = U_2 \text{ codt } N = 2 \cdot 20 \cdot 9 = 360 \quad (7)$$

## 2) Indukční pec

Indukční pec je tvořena dvěma částmi. Primární vnutí indukční pece, jenž slouží k připojení na síťové napětí a je tvořeno 655 závitů. Sekundární vnutí tvoří kruhová nádoba, jenž představuje závit na krátko. Jelikož má pouze jeden závit, dle transformačního poměru prochází kruhovou nádobou, která představuje sekundární vnutí, velmi vysoký proud. Vysoký procházející proud má za následek ohřívání materiálu, protože dle rovnice  $P = RI^2$  se zde maří velmi vysoký výkon, jenž se uvolňuje ve formě tepla.

U našeho přípravku se indukční pec připojuje přes panel, který obsahuje ampermetr, který měří proud protékající primárním vnutím, ale je ocejchován pro sekundárního proud dle transformačního poměru.

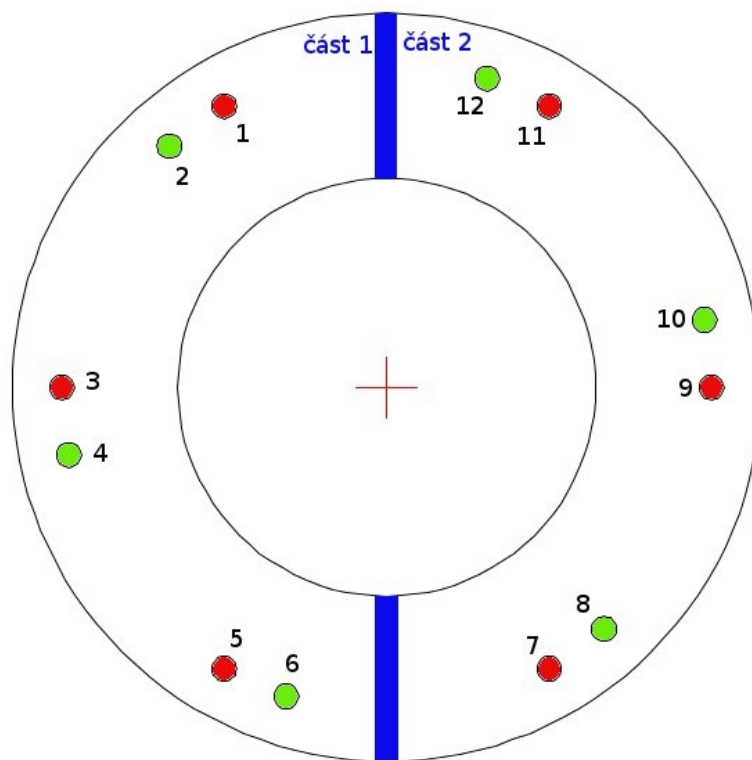
Panel dále umožňuje připojení externího voltmetru a ampérmetru.

## 3) Konstrukční provedení

### 3.1) Model asynchronního motoru

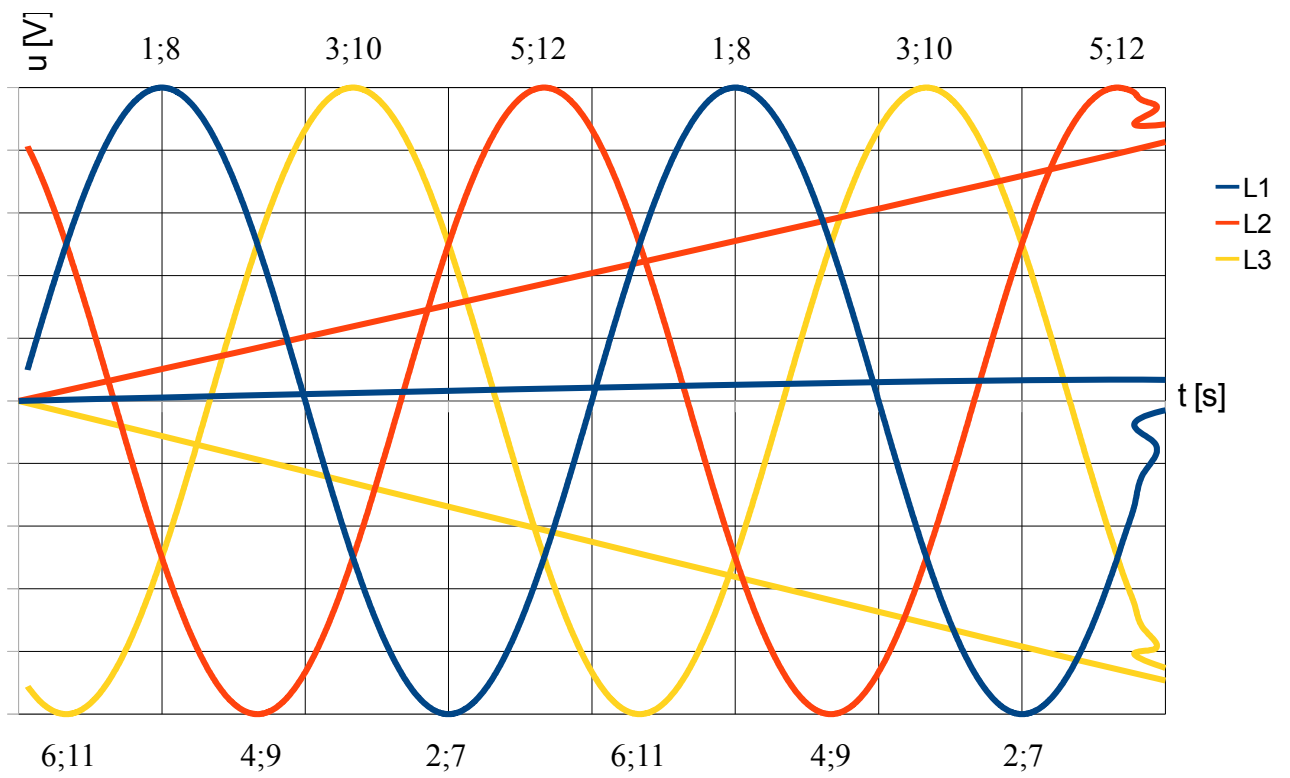
Skříň ve které se nachází obvody modelu asynchronního motoru je zhotovena z dřevotřísky (spodní a horní stěna) a materiálu využívaného pro výrobu plovoucích podlahových krytin (boční stěny). V rozích skříně jsou lepeny a šroubovány dřevěné hranoly, které spevňují celou skříň. Veškeré prvky jsou montovány na spodní stěnu skříně pomocí šrobů různých průměrů s metrickým stoupáním. Na čelním panelu skříně jsou umístěny zleva: hlavní vypínač (se zabudovanou kontrolkou signalizující zapnutý stav), konektory typu BNC, na které jsou přivedeny jednotlivé fáze (L1, L2, L3) a konektor typu BNC, na který je přiveden signál z trojfázového jednocestného usměrňovače (SUM). Na zadním panelu je umístěn přívodní konektor typu Px a pojistka. Horní stěna je podložena gumovými podložkami (z důvodu odvodu tepla) a přišroubována vruty do dřevěných hranolů. Horní stěna je lakována tmavě hnědou barvou. Skelet motoru je podložen hliníkovými podložkami. Na horní straně skeletu je umístěno mezikruží vyrobené z plexiskla (povrch upraven broušením). Ve čtyřech místech mezikruží jsou vyrobeny závity M6, do kterých jsou šroubovány závitové tyče, pomocí kterých je mezikruží i skelet motoru připevněn k horní stěně skříně. Jako rotor je použita klasická klecová kotva, která je přizpůsobena rozměrům skeletu. Rotor je uložen pomocí hrotového ložiska (spodní část) a šroubu M6, který prochází držákem vyrobeným z hliníkového plechu (horní část). V mezikruží je umístěno 12 LED diod. Při navíjení statorového vinutí jsme vycházeli z požadovaného ohmického odporu jedné cívky. Vinutí je ve statorových drážkách založeno standardním způsobem. Cívky jednotlivých fází jsou bandážovány kalouny různých barev. Motor je navinut jako dvoupólový stroj. Znamená to tedy, že vždy dvě cívky jedné fáze jsou propojeny antisériově. Dvoupólový stroj jsme zvolili z důvodu největší přehlednosti. Skelet motoru má 36 drážek, což znamená, že by cívky měly být trojitě. Na základě námi požadovaného nízkého výkonu stroje jsme se rozhodli cívky vinout jako jednoduché opět z důvodu větší přehlednosti. Věnc motoru je vyvázán klasickým způsobem. Z motoru jsou vyvedeny všechny začátky a konce vinutí. Připojení motoru i LED diod je řešeno pomocí konektorů D – sub 9 a D – sub 15. Toto připojení umožňuje celou horní stěnu skříně odmontovat a odpojit,

což zlepšuje přístupnost dalších bloků umístěných přímo ve skříni. Přímou ve skříni je umístěn transformátor, který jsme navinuli standardním způsobem, filtrční kondenzátory, desky plošných spojů a výkonové tranzistory montované na chladicí plechy. K propojení jednotlivých bloků jsme použili vodiče různých průřezů typu CYA. Bloky jsou propojovány přes svorkovnice, což umožňuje vyjmutí jednotlivých bloků nezávisle na sobě.



Obr. 6: Mezikruží motoru s vyznačenými LED diodami





Obr. 7: Časové průběhy napětí s vyznačenou závislostí LED diod

Očíslování maximálních hodnot v jednotlivých fázích se shoduje s číslováním LED diod, které jsou umístěny v mezikruží.

### 3.2) Model indukční pece

Model indukční pece je postaven kolem školního přípravku rozebíratelného magnetického obvodu. Tento přípravek jsme opatřili základnou, která je vyrobena z materiálu pro výrobu plovoucích podlahových krytin. K základně jsou přišroubovány čtyři gumové nožičky. K tomuto přípravku jsme vyrobili cívku navinutou na vlastní kostře. Na kostru jsme navinuli 655. Počet závitů je zvolen tak, aby při síťovém napětí 230V cívku protékal proud právě 5A. Počet závitů jsme neurčovali výpočtem, ale postupným zkoušením. Vývody cívky jsou realizovány pomocí ohebných vodičů se silikonovou izolací. Závit nakrátko (sekundární vinutí) jsme vysoustružili z běžné oceli. Jedná se o kelímek kruhového tvaru.

Ovládací panel je zhotoven opět z dřevotřísky a materiálu pro výrobu plovoucích podlahových krytin. Přívod síťového napětí je řešen pevně zaústěným kabelem (2Dx0,75). Přívodní kabel neobsahuje ochranný vodič, protože se jedná o výrobek druhé třídy. Na čelním panelu je umístěn hlavní vypínač, kontrolka signalizující zapnutý stav, pojistka, zdířky pro připojení externích měřidel, zdířky pro připojení vlastní indukční pece a ampermetr ukazující teoretický sekundární proud. Zvolili jsme rychlou pojistku s ampéráží 6,3A. Ampermetr má základní rozsah 5A, což je hodnota rovnající se hodnotě odebíraného proudu ze sítě. Tento ampermetr je cejchován tak, aby ukazoval teoretickou hodnotu sekundárního proudu, kterou jsme vypočítali podle transformačního poměru.

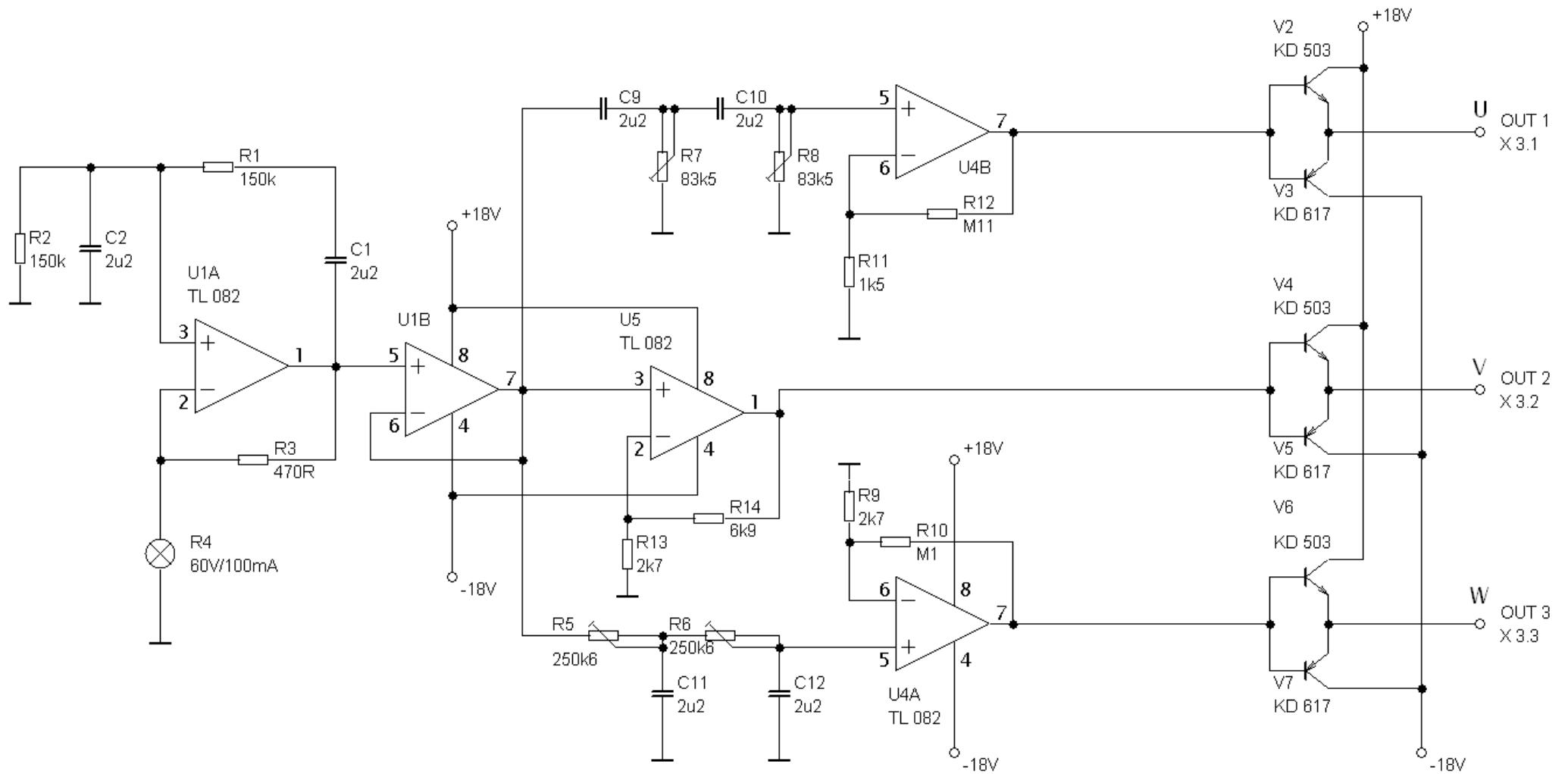
#### 4) Závěr

Během stavby této práce nás potkalo mnoho nesnází a museli jsme obvody navrhovat jinými způsoby a vymýšlet jiné konstrukční postupy. Pochopení principů točivého magnetického pole s naším přípravkem není tak snadné, jak jsme očekávali, ale na druhou stranu se přípravek chová jako skutečný indukční stroj. U přípravku indukční pece jsme museli vypustit některá měření z důvodu velkých odchylek. Jedná se tedy o přípravky, na kterých je možno provádět měření, ale mají sloužit hlavně k pochopení principů magnetických polí. Během této práce jsme sami pochopili principy magnetických polí do větší hloubky.

#### Náklady na stavbu zařízení:

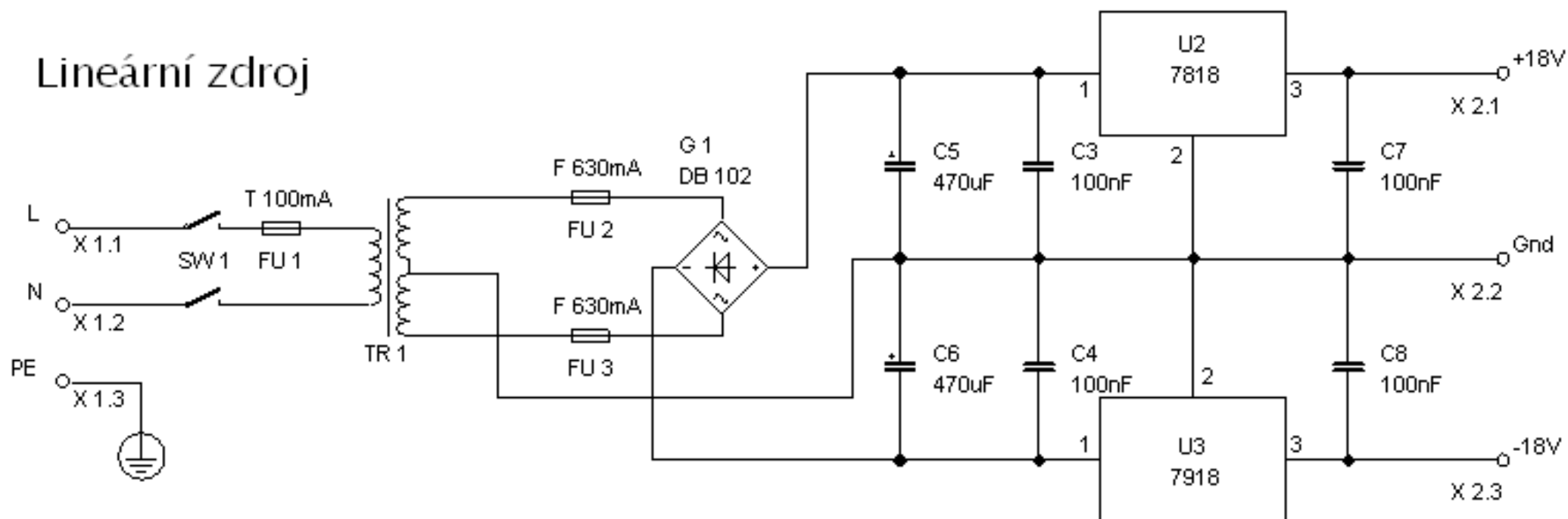
materiál	cena [kč]
konstrukční materiál – výroba skříní a dělčích součástí	1500
motor – skelet + cívky	500
soustružnické práce	1200
dps	90
součástky	753
ampermetr	650
vodiče/dráty CuL	170
elektrotechické konstrukční prvky – čelní a zadní panely	325
<b>celkem</b>	<b>5188</b>

## Příloha A – Schéma celého oscilátoru

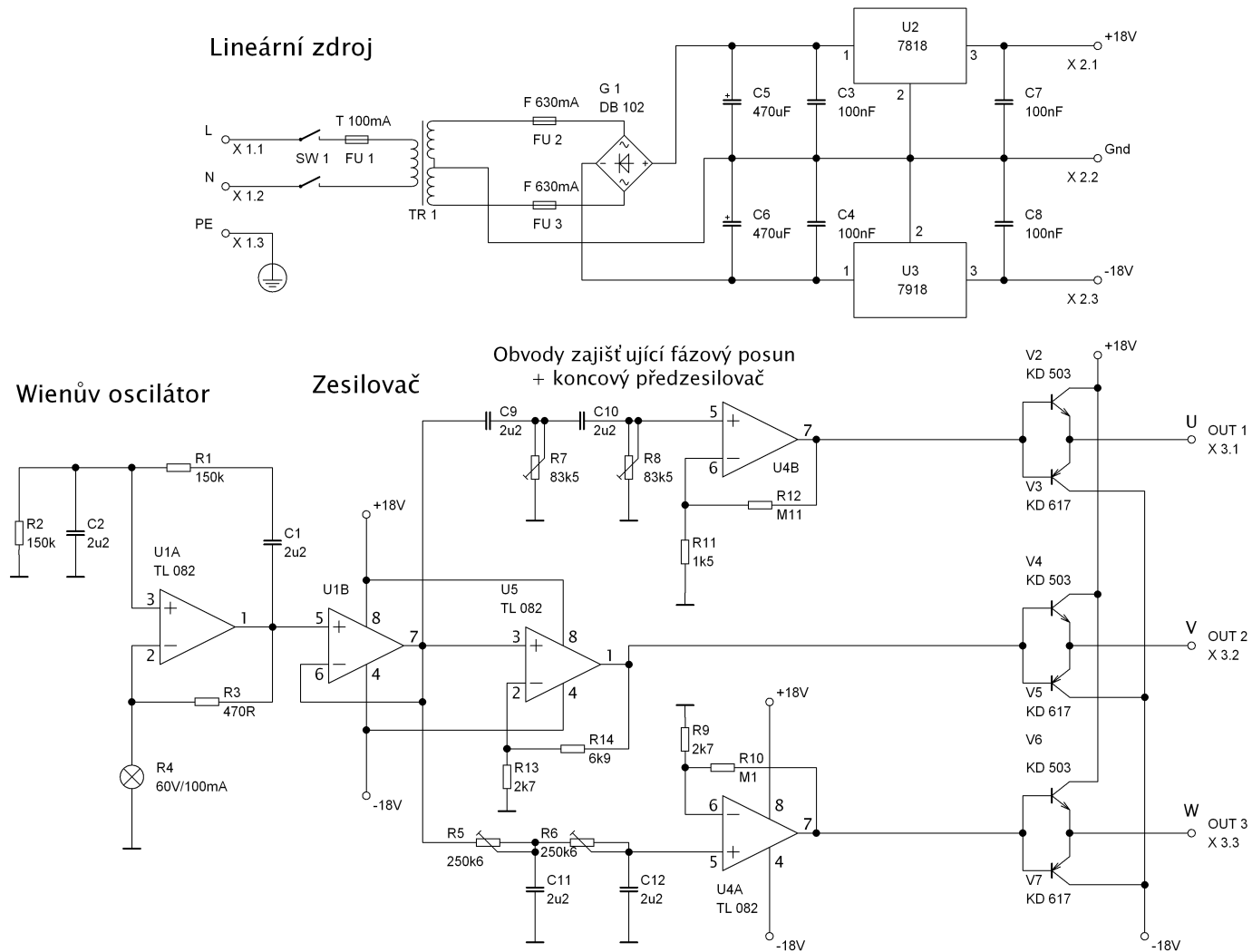


## Příloha B – Schéma napájení pro oscilátor

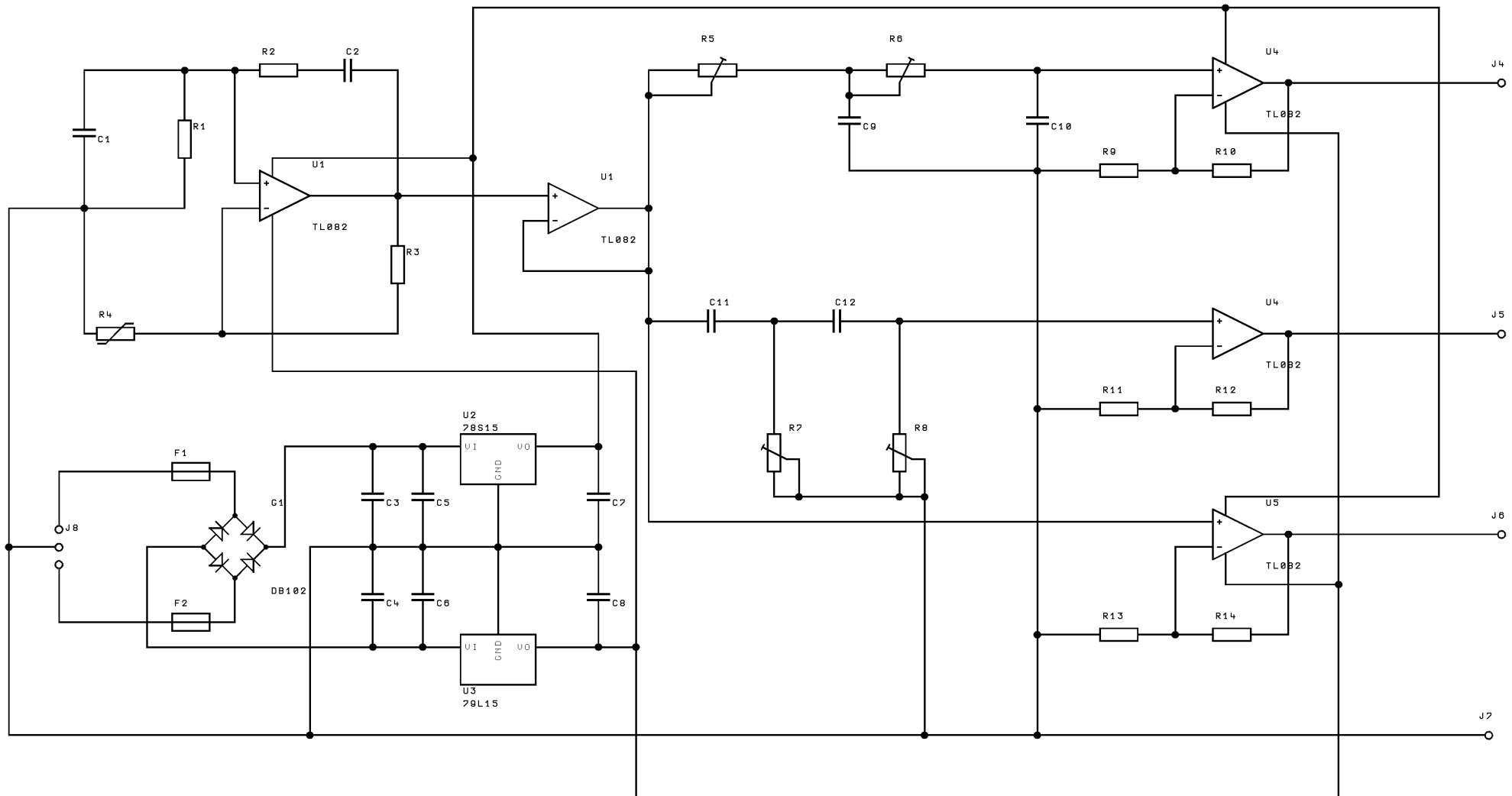
### Lineární zdroj



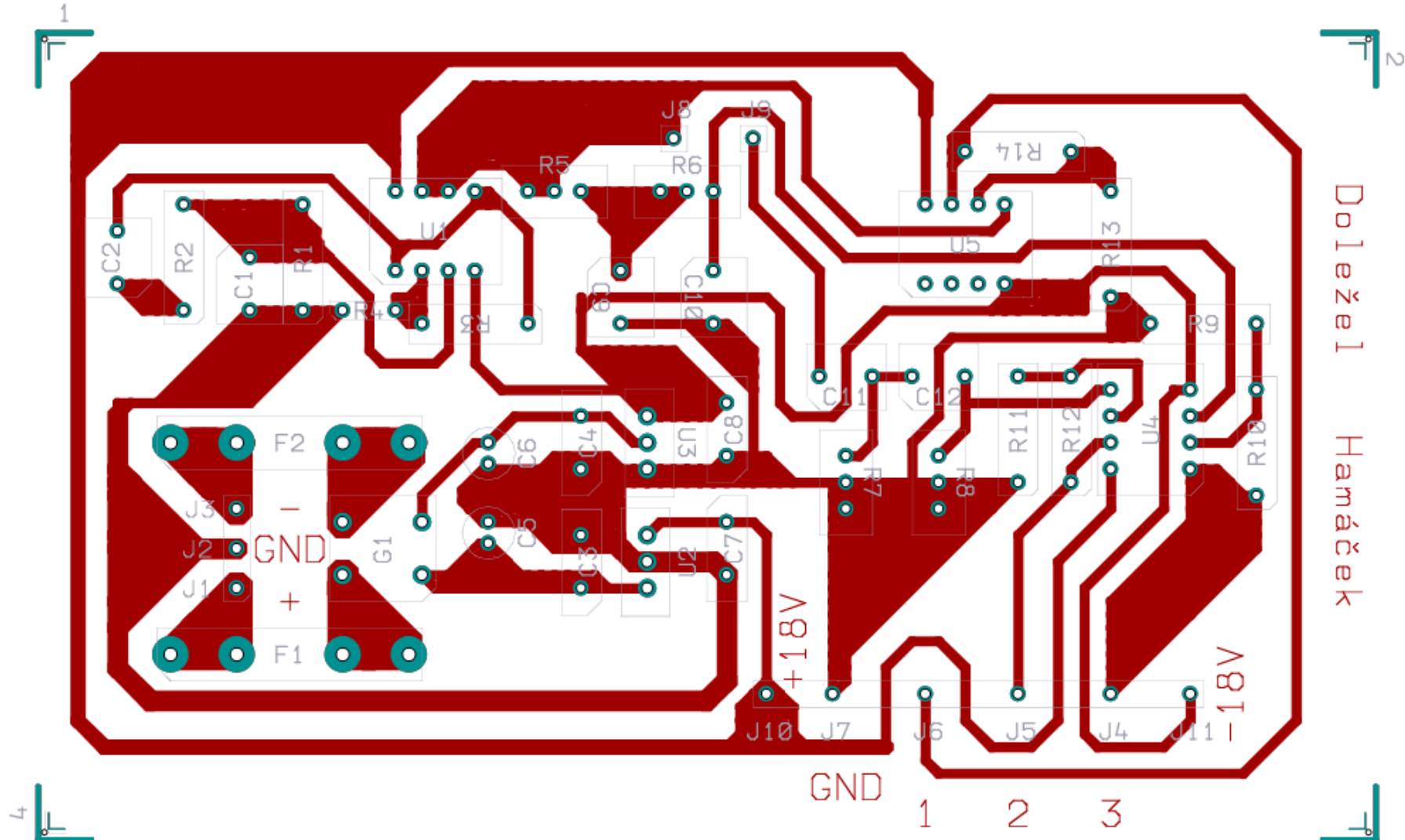
## Příloha C – Schéma celého přípravku



# Příloha D – Pracovní schéma pro návrh desky plošného spoje

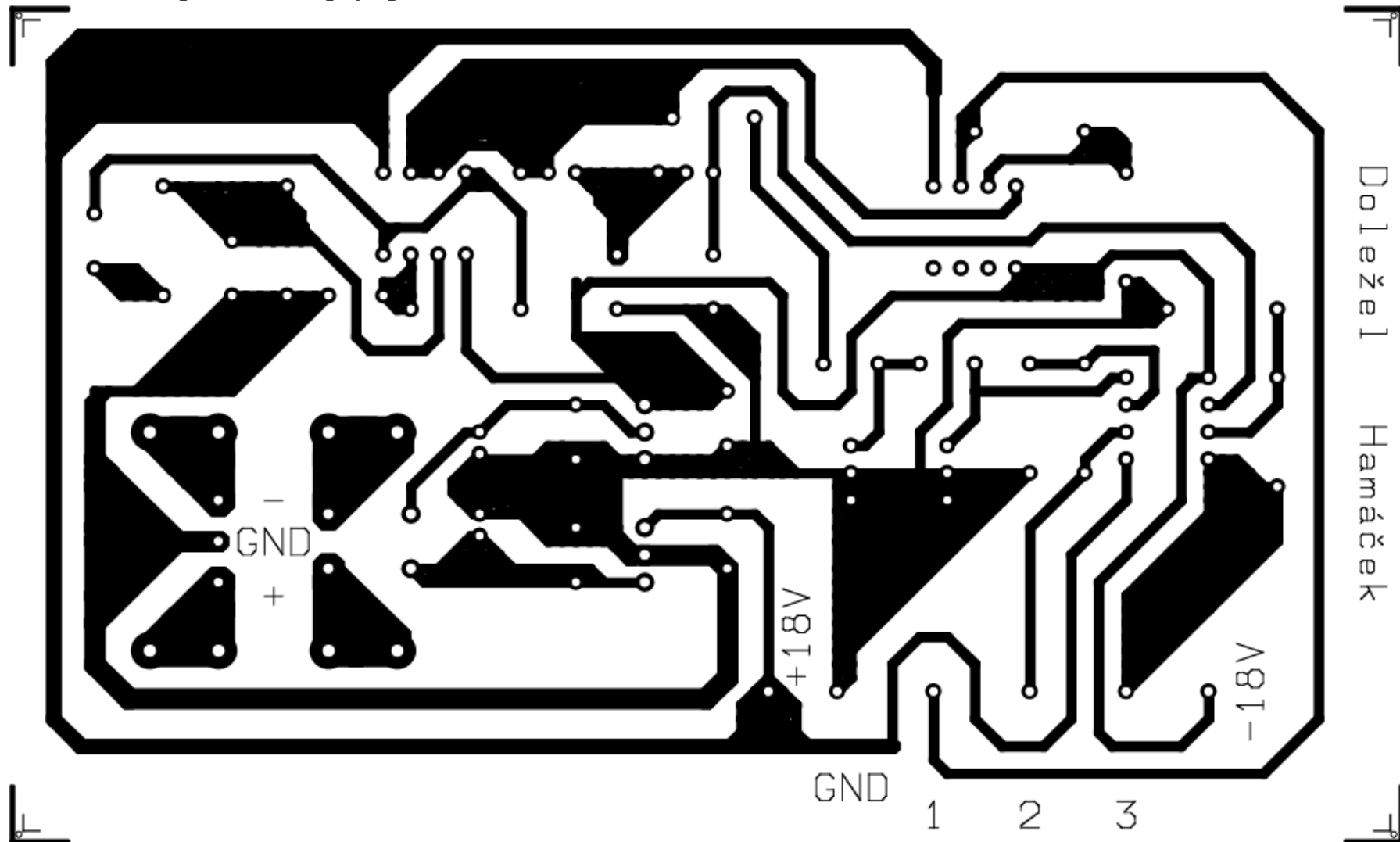


Příloha E – Deska plošného spoje s viditelnými součástkami

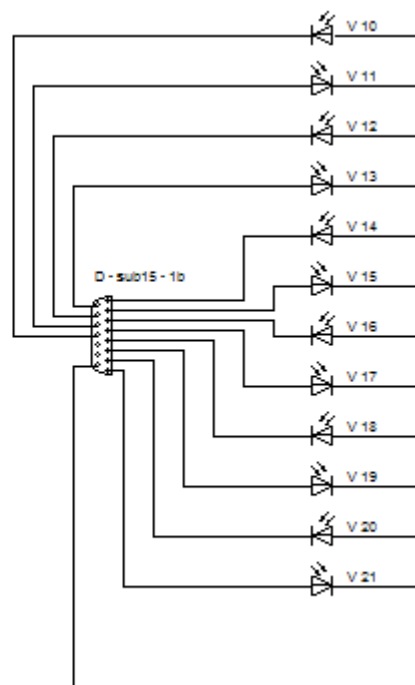
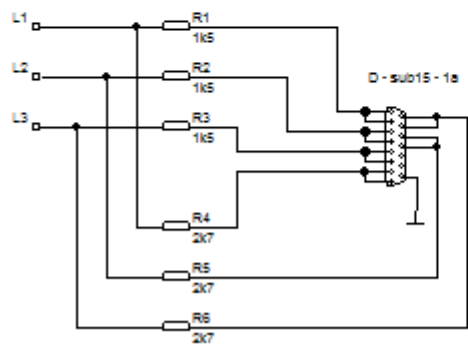
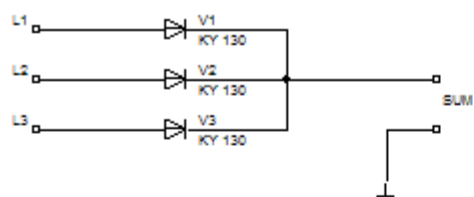




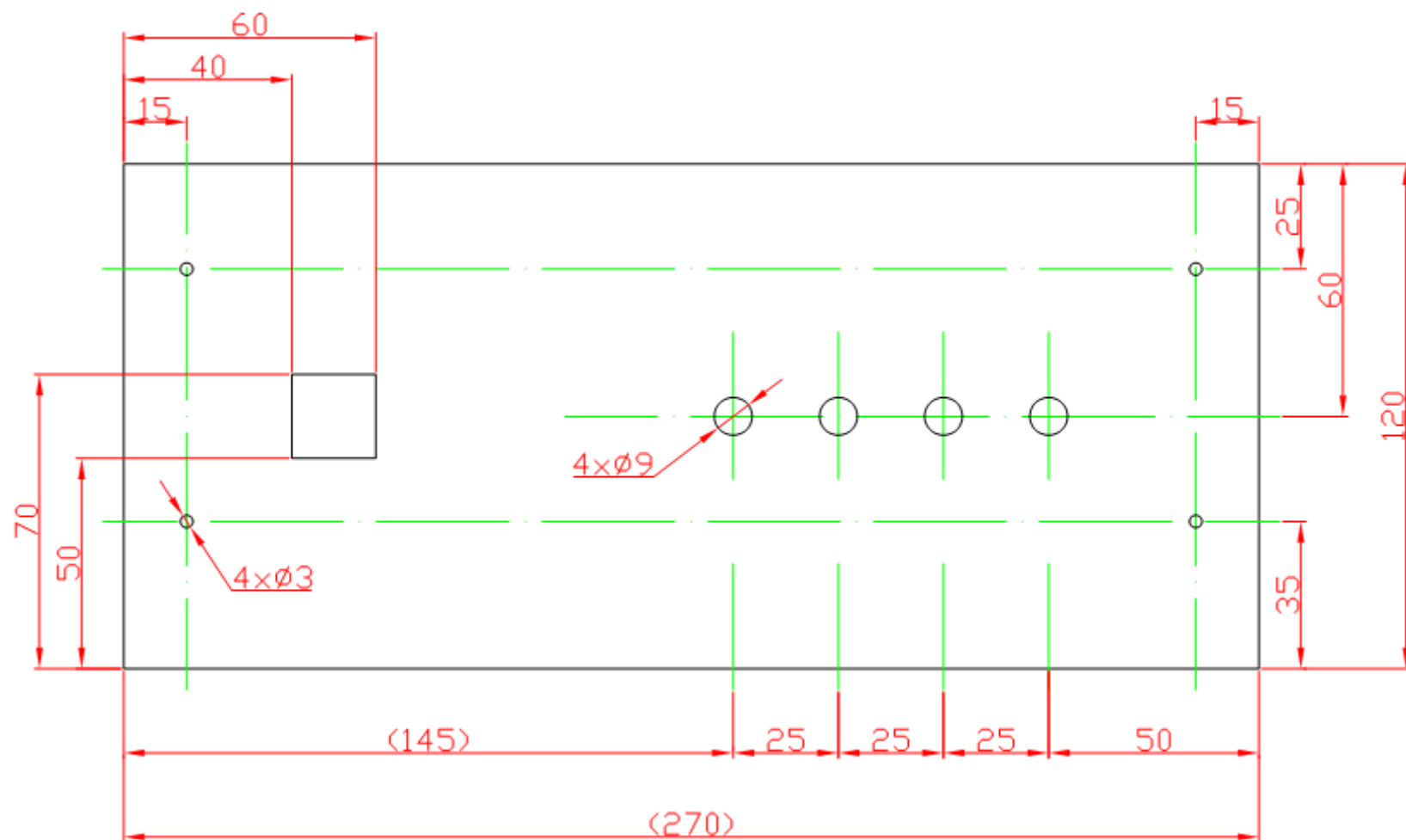
Příloha F – Deska plošného spoje pro fotocestu



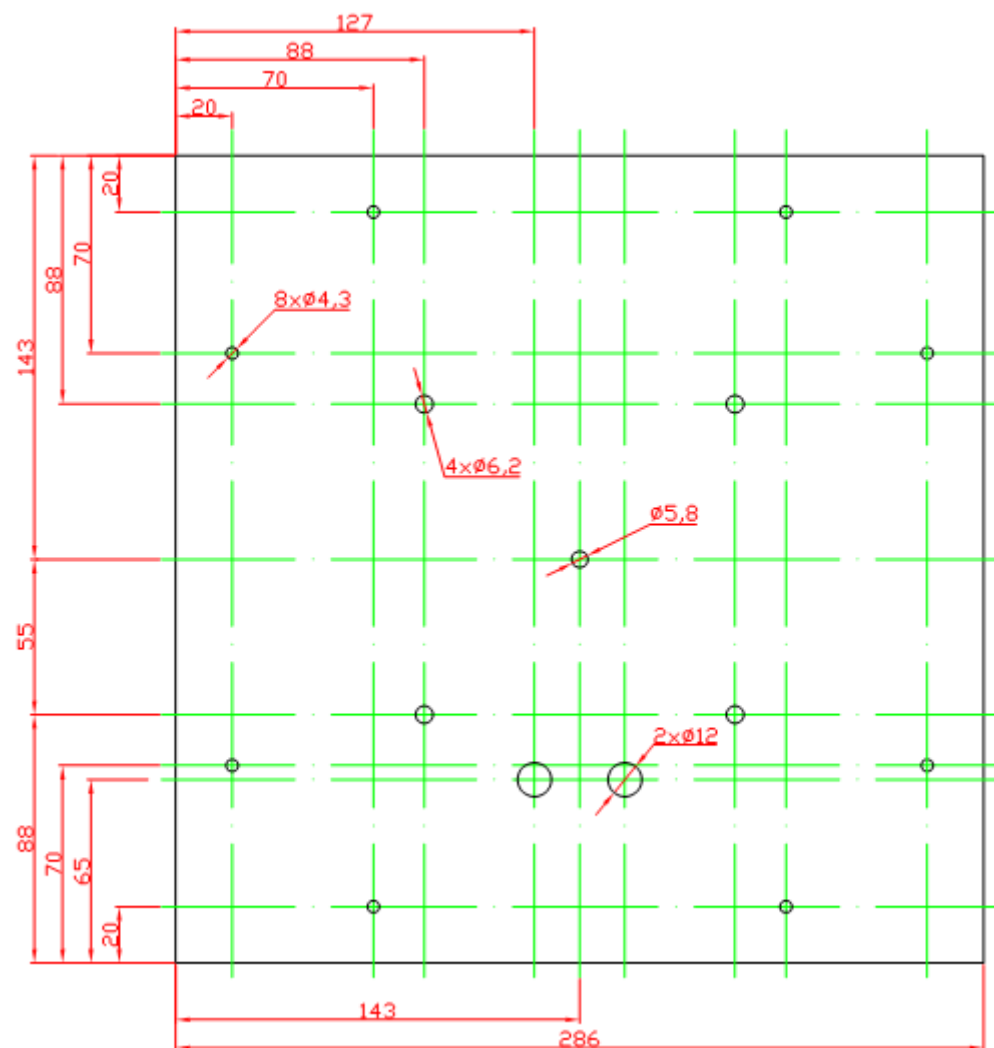
Příloha G – Schéma připojení LED diod a jednocestného trojfázového usměrňovače k výstupu koncových zesilovačů



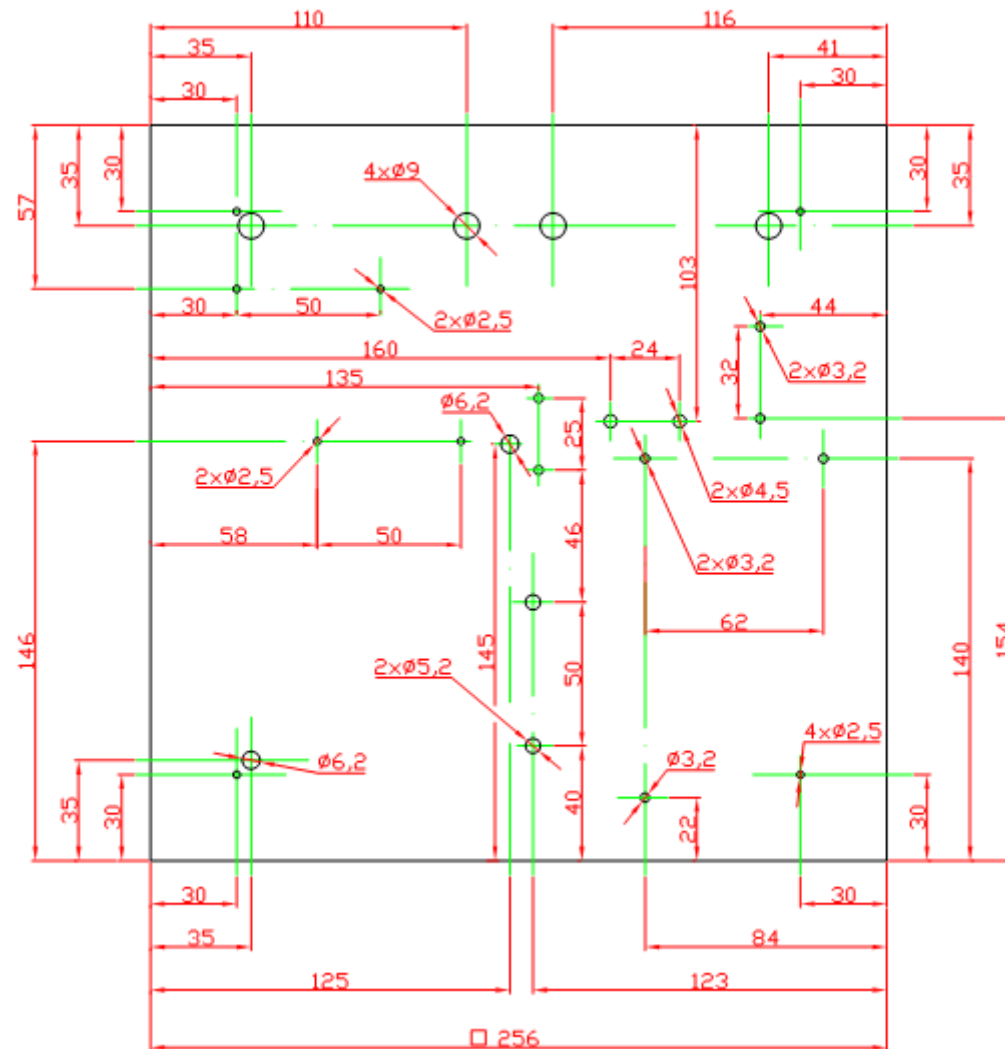
Příloha H – Čelní strana panelu pro model asynchronního motoru



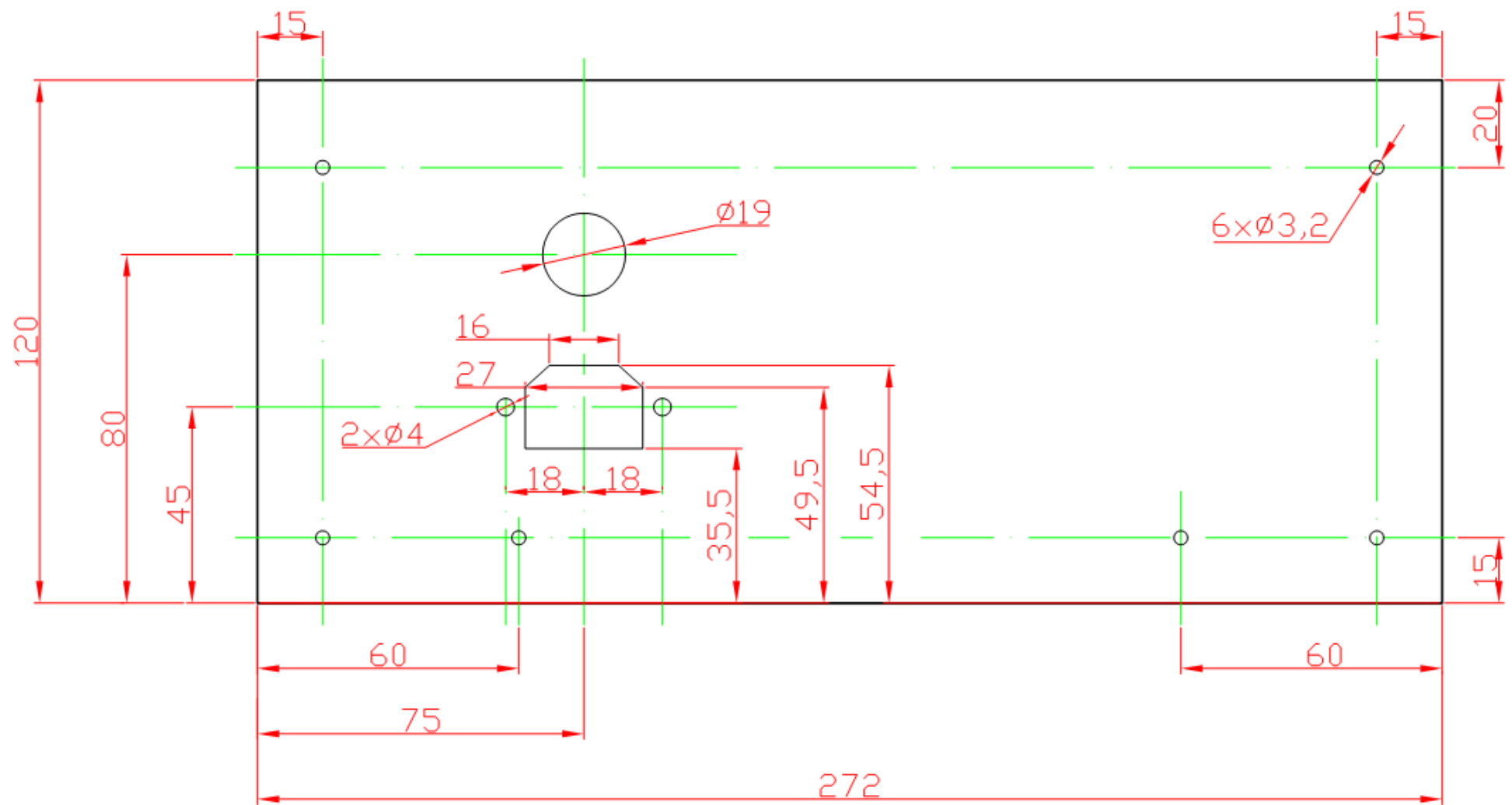
Příloha I – Horní stěna panelu pro model asynchronního motoru



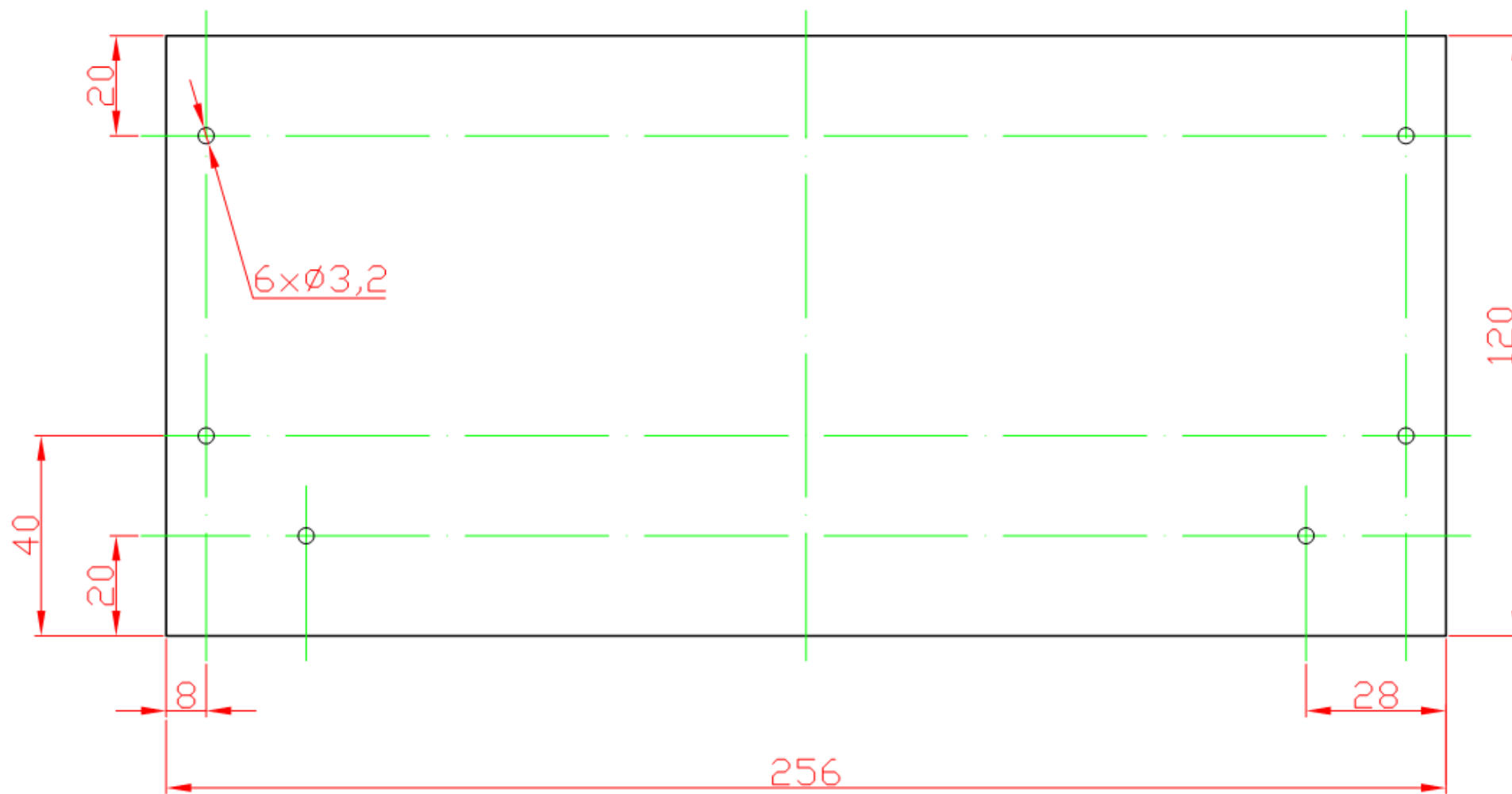
Příloha J – Dolní strana panelu pro model asynchronního motoru



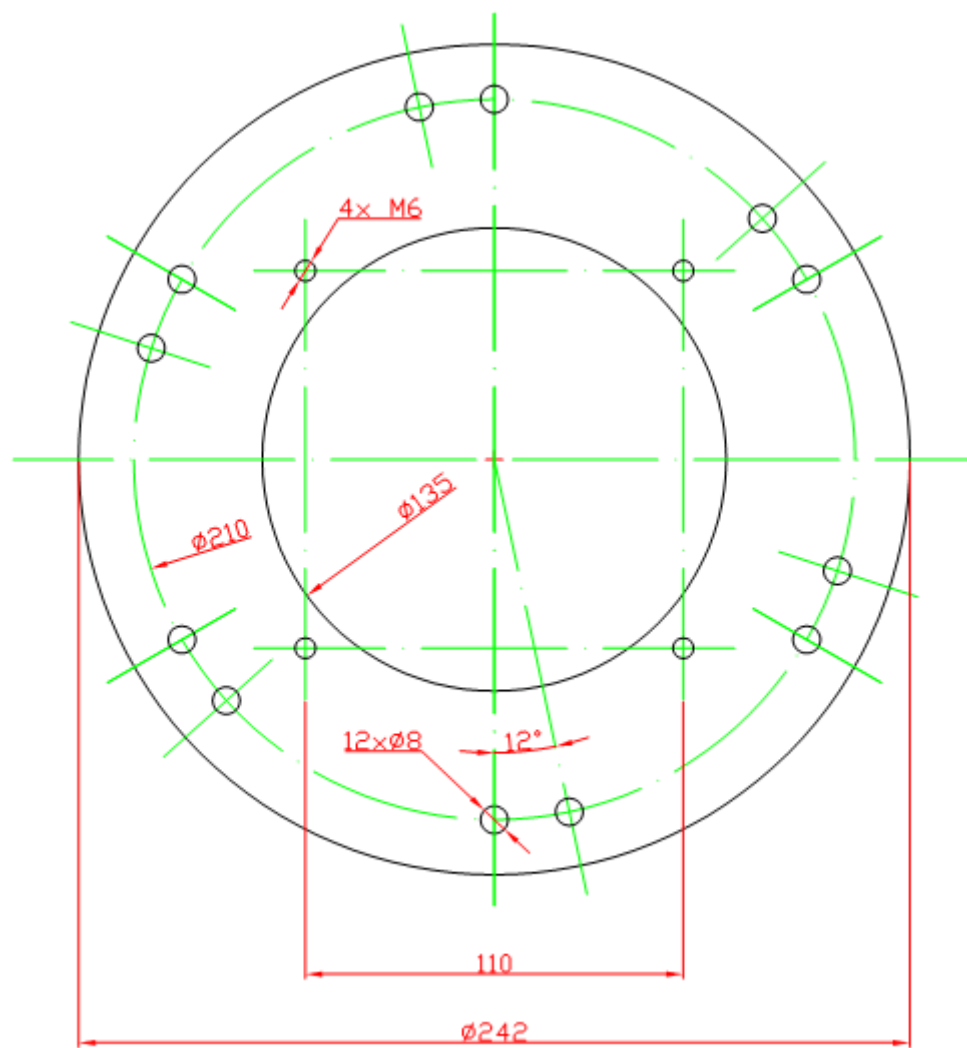
Příloha K – Zadní strana panelu pro model asynchronního motoru



Příloha L – Boční strana panelu pro model asynchronního motoru

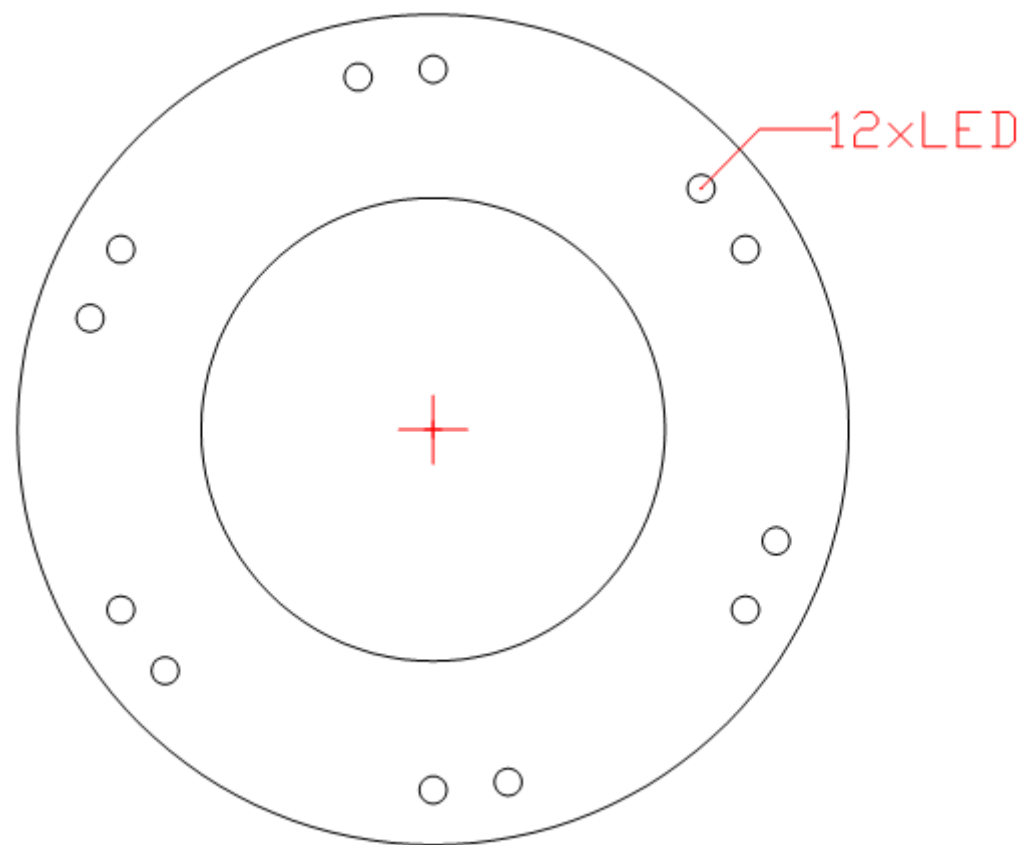


Příloha M – Mezikruží asynchronního motoru

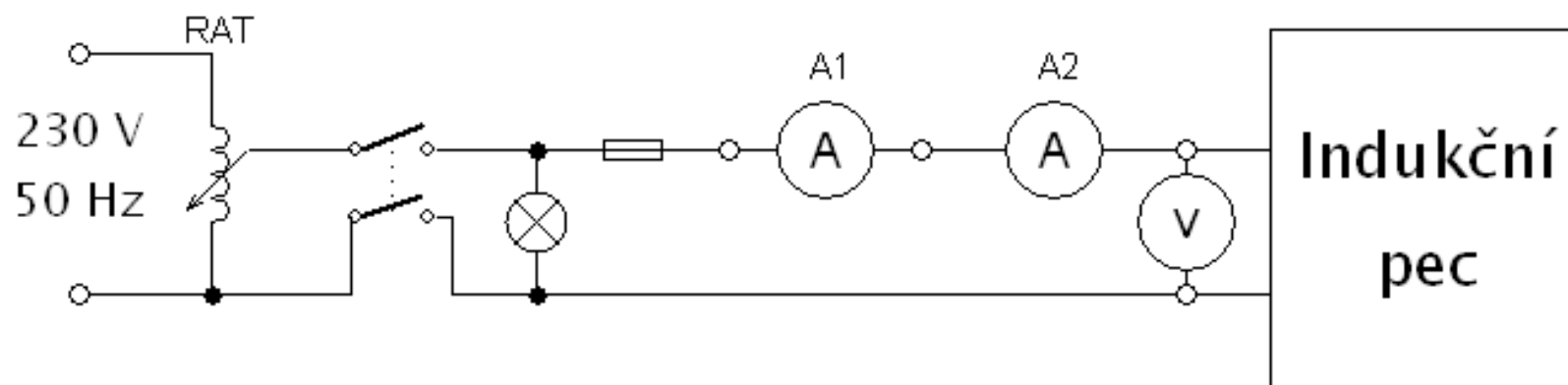




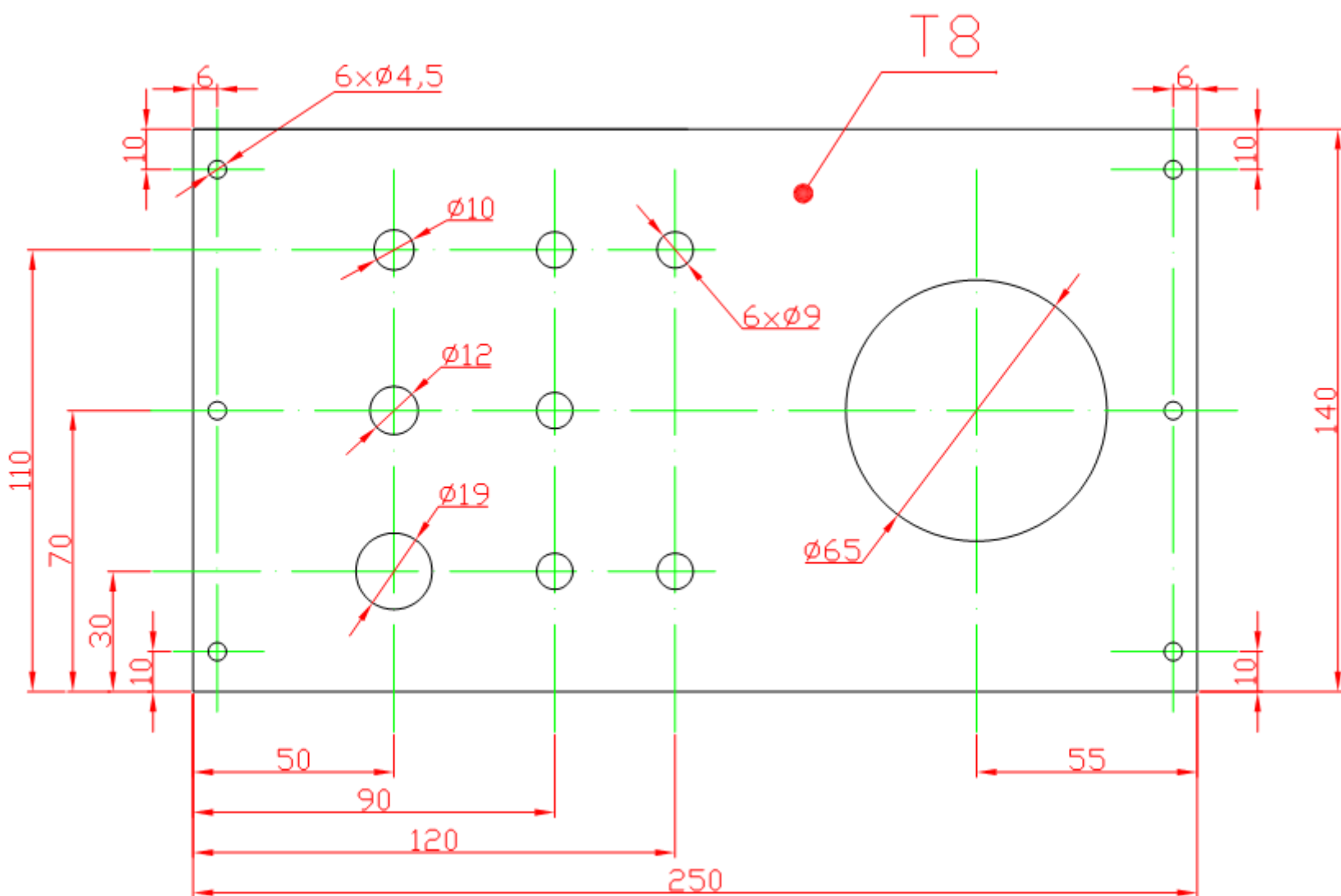
Příloha N – Mezikruží asynchronního motoru



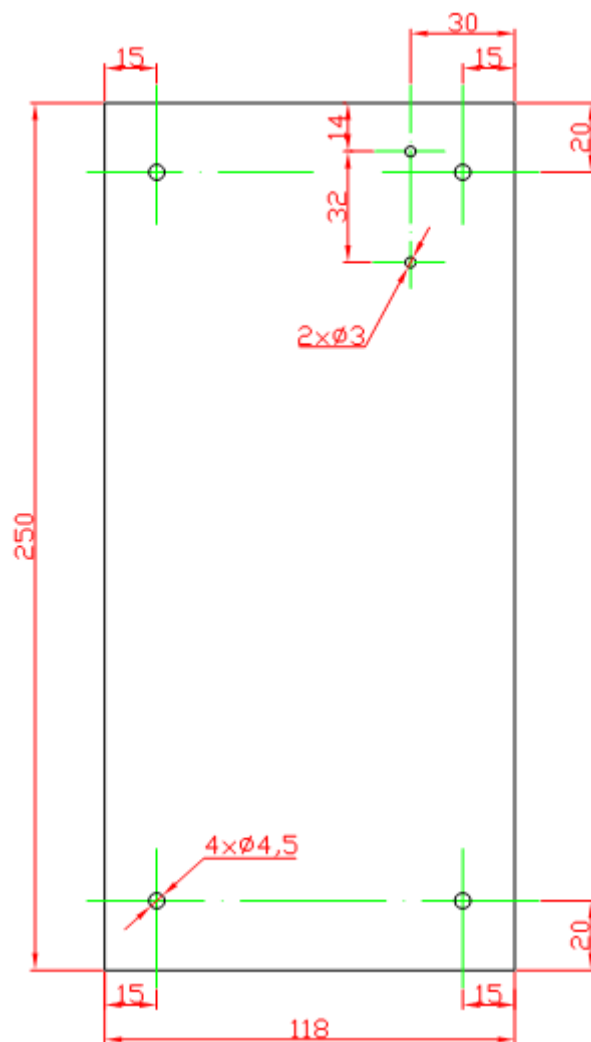
Příloha O – Schéma indukční pece.



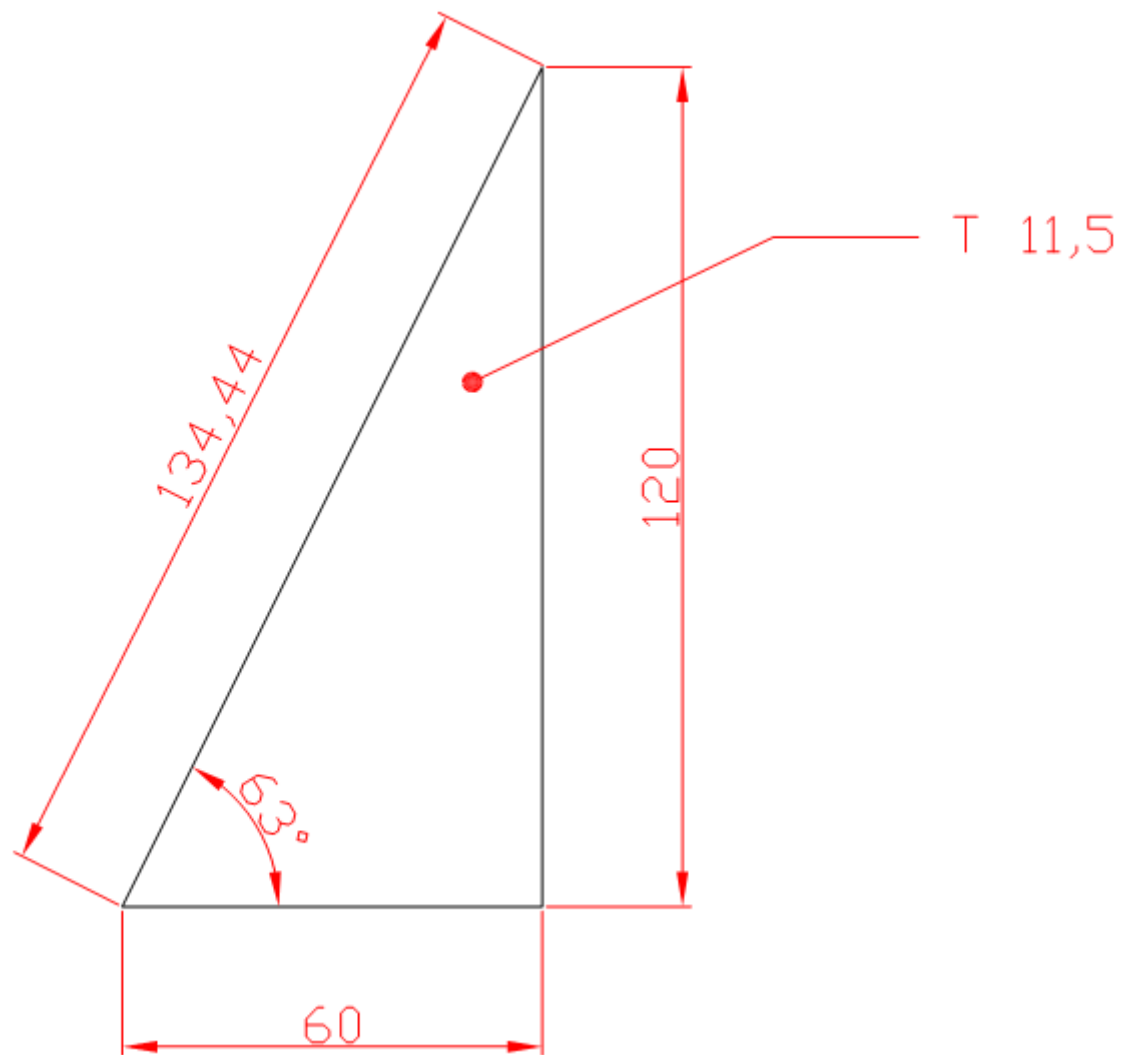
Příloha P – Čelní strana panelu pro model indukční pece



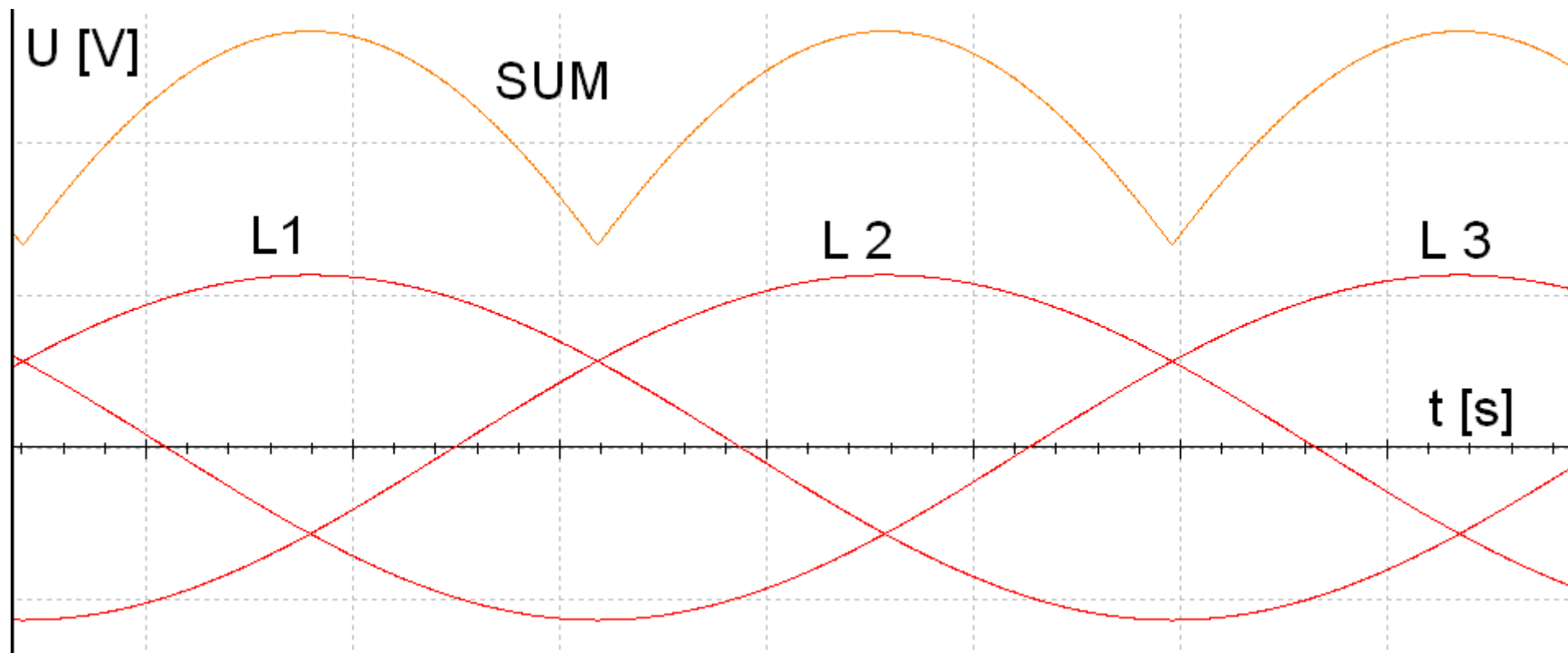
Příloha Q – Dolní část panelu pro model indukční pece



Příloha R – Boční stěna panelu pro model indukční pece



Příloha S – Signál za jednocestným trojfázovým usměřovačem



## Příloha T

### Zadání měření na trojfázovém synchronním motoru

#### Zadání:

1. Na digitálním osciloskopu zobrazte a do počítače uložte průběhy napětí. Vždy zobrazte dvě různé fáze a stanovte jejich fázový posun. Toto opakujte pro všechny tři kombinace (UV; VW; WU).
2. Změřte průběh signál za jednocestným trojfázovým usměrňovačem (značený SUM) pomocí osciloskopu.

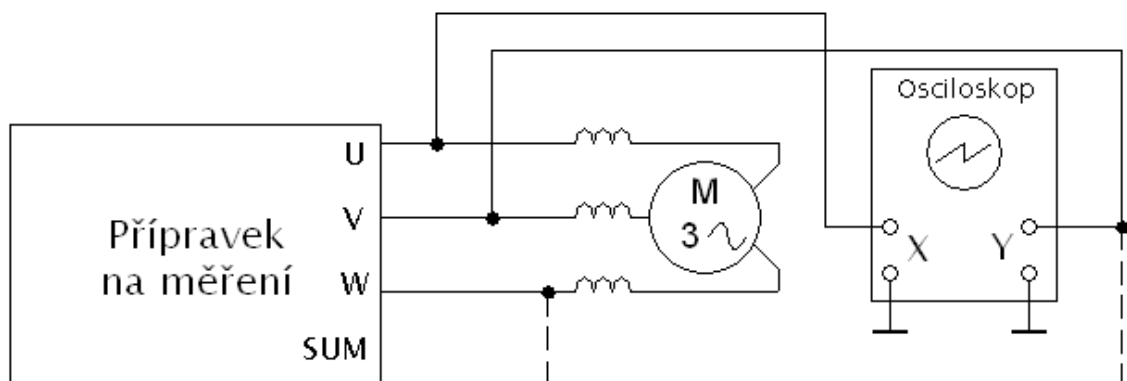
#### ***Pro šikovné studenty:***

3. Sloučete dva různé snímky do jednoho, tak aby byla vidět vzájemná závislost jednotlivých fází.

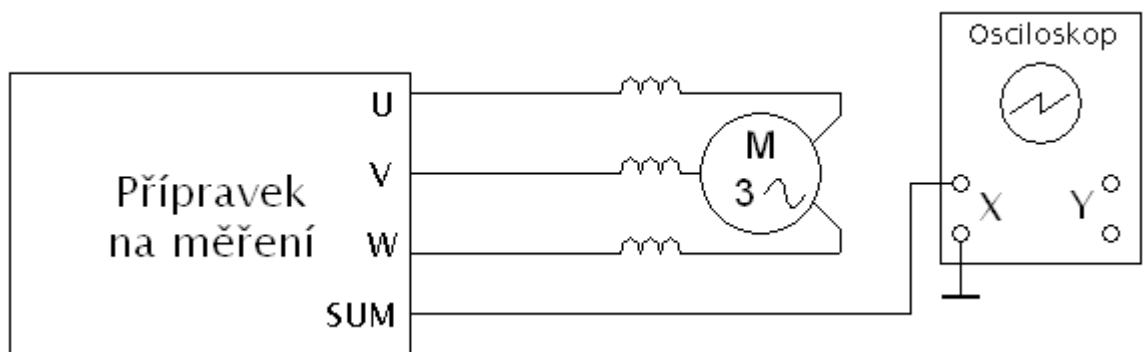
#### Teoretický úvod:

- Definice a použití trojfázové soustavy. Vztahy mezi jednotlivými fázemi (U, V, W).
- Rozdíl mezi fázovým a sdruženým napětím + vztah na určení sdruženého napětí.
- Princip točivého magnetického pole
- Rozdíl mezi synchronním a asynchronním motorem.
- Vztah pro určení počtu otáček za minutu. Jak lze rychlost otáčení motoru ovlivnit.

#### Schéma zapojení:



Obr. 8: Schéma zapojení pro měření průběhů trojfázové napěťové soustavy



Obr. 9: Schéma zapojení pro měření signálu za jednocestným trojfázovým usměřňovačem

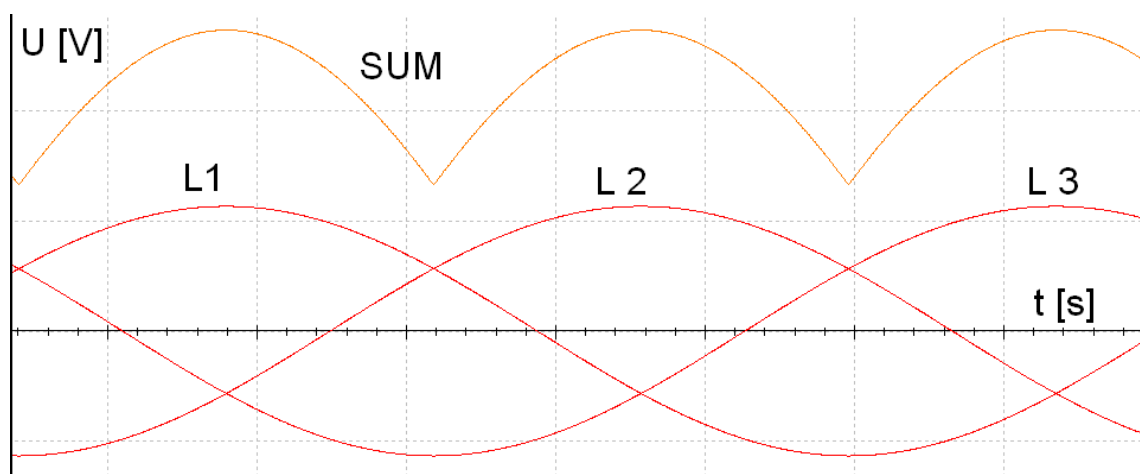
### Postup měření:

Měření se bude provádět pomocí digitálního osciloskopu. Jeden vstup digitálního osciloskopu (channel 1) připojíte na fázi U. Druhý vstup digitálního osciloskopu (channel 2) připojíte na fázi V. Nastavíte osciloskop tak, aby byly vidět alespoň dvě periody. Tento napěťový průběh uložíte do počítače. Tento postup zopakujete ještě dvakrát pro zbylé dvě kombinace fází (VW a UW).

Nyní připojíme k osciloskopu výstup SUM, dle schéma 2. Opět nastavíme signál, aby byly vidět alespoň dvě periody a průběh vytiskneme.

Fáze U, V a W a výstup jednocestného trojfázového usměřňovače jsou vyvedeny na panelu přípravku ve formě BNC konektorů, které lze jednoduše propojit s osciloskopem.

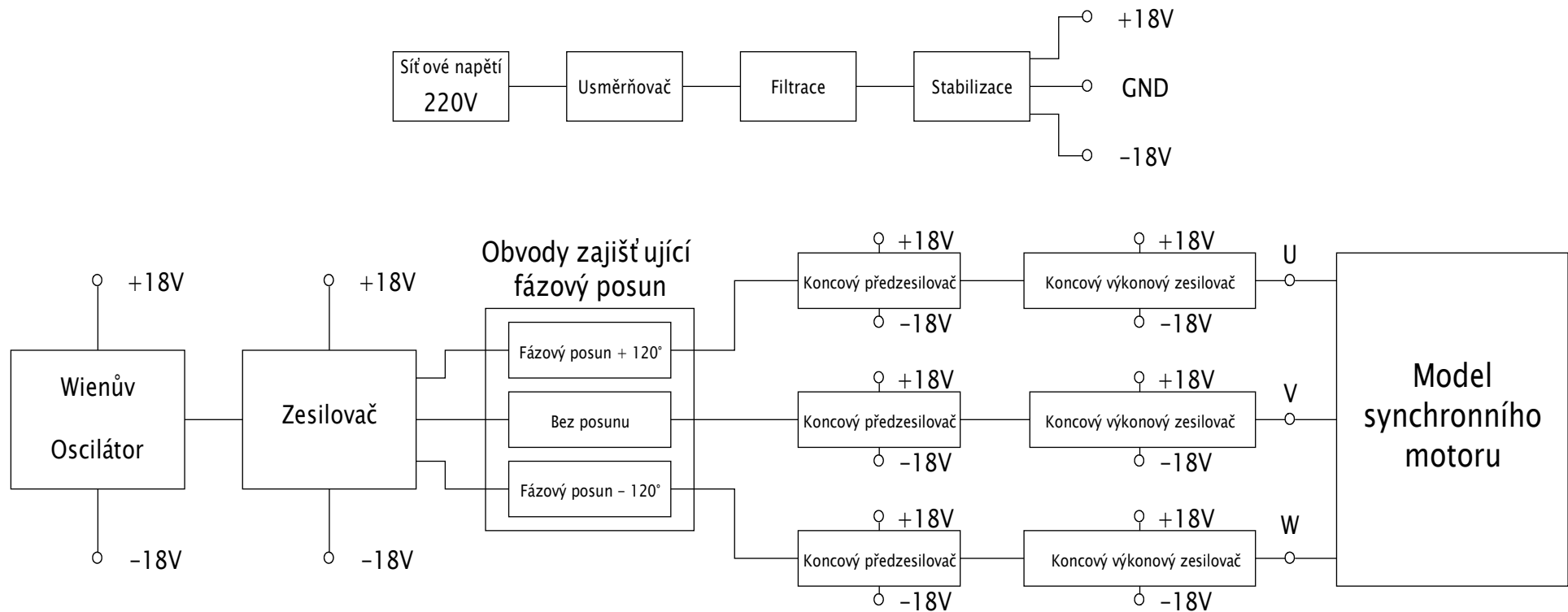
### Předpokládaný průběh:



### Závěr:

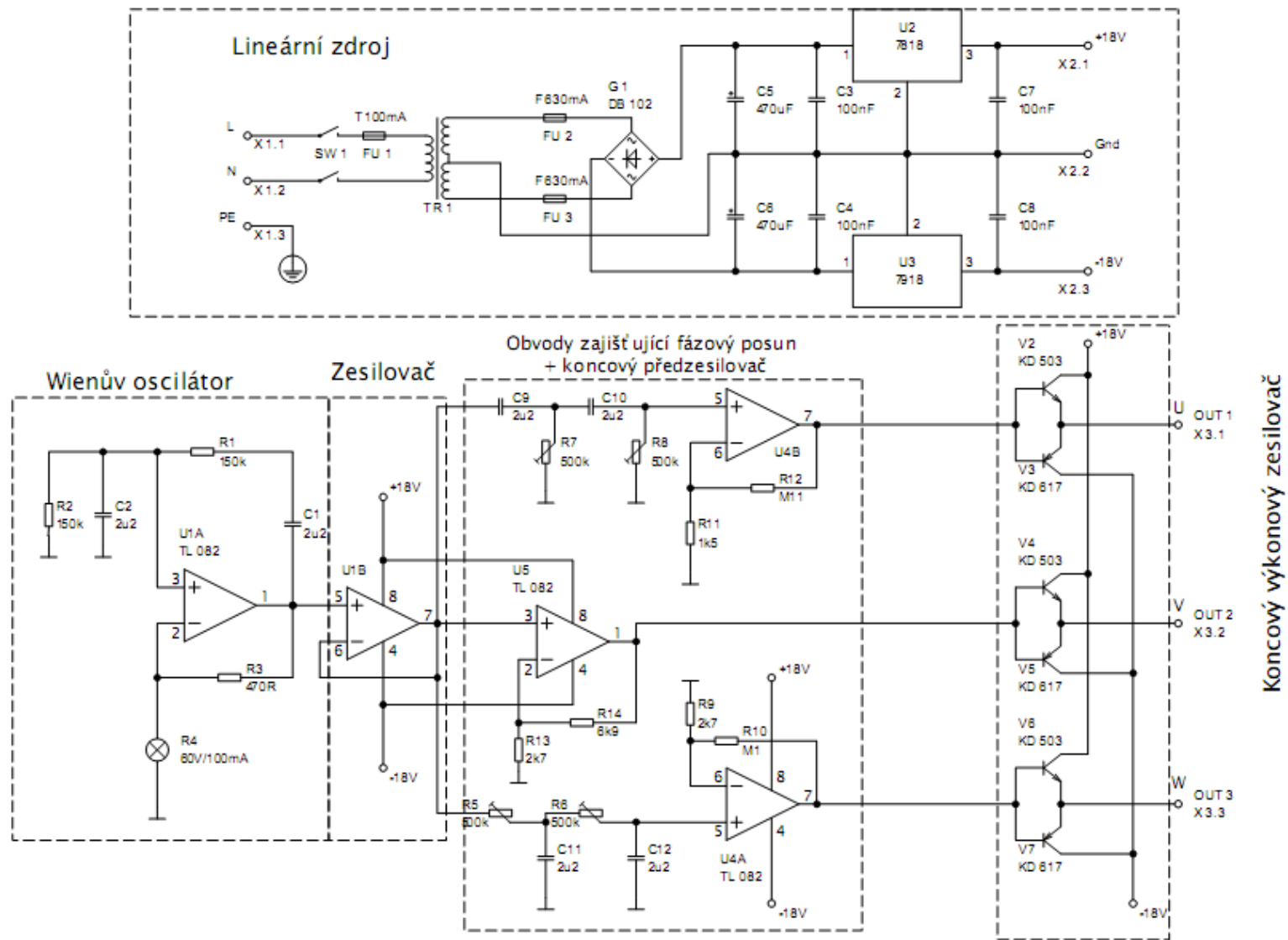
Zdůvodněte průběhy před a za jednocestným trojfázovým usměřňovačem





Obr. 10: Blokové schéma pro měření trojfázového motoru

1. Wienův oscilátor – Generuje signál o frekvenci 0,5Hz.
2. Zesilovač – Signál z wienova oscilátoru je příliš slabý pro následující použití, a proto je okamžitě zesílen
3. Obvody zajišťující fázový posun – Oscilátorem vygenerovaný signál je potřeba rozdělit na tři části, z nichž první je posunut o 120°, druhý zůstává ve fázi s původním a třetí je posunut o -120°. Tímto je docíleno simulace napětí v trojfázové soustavě.
4. Koncový předzesilovač – Články zajišťující fázový posun mají vysoký útlum, a proto je nutné použít koncové zesílení pro každou fázi zvlášť.
5. Koncový výkonový zesilovač – Slouží konečnému zesílení, jenž má dostatečný výkon pro provoz modelu motoru.



Obr. 11: Vnitřní schéma přípravku

## Příloha U

### Zpracování měření na trojfázovém synchronním motoru

#### Zadání:

1. Na digitálním osciloskopu zobrazte a do počítače uložte průběhy napětí. Vždy zobrazte dvě různé fáze a stanovte jejich fázový posun. Toto opakujte pro všechny tři kombinace (UV; VW; WU).
2. Změřte průběh signálu za jednocestným trojfázovým usměrňovačem (značený sum) pomocí osciloskopu.

#### *Pro šikovné studenty:*

3. Sloučete dva různé snímky do jednoho, tak aby byla vidět vzájemná závislost jednotlivých fází.

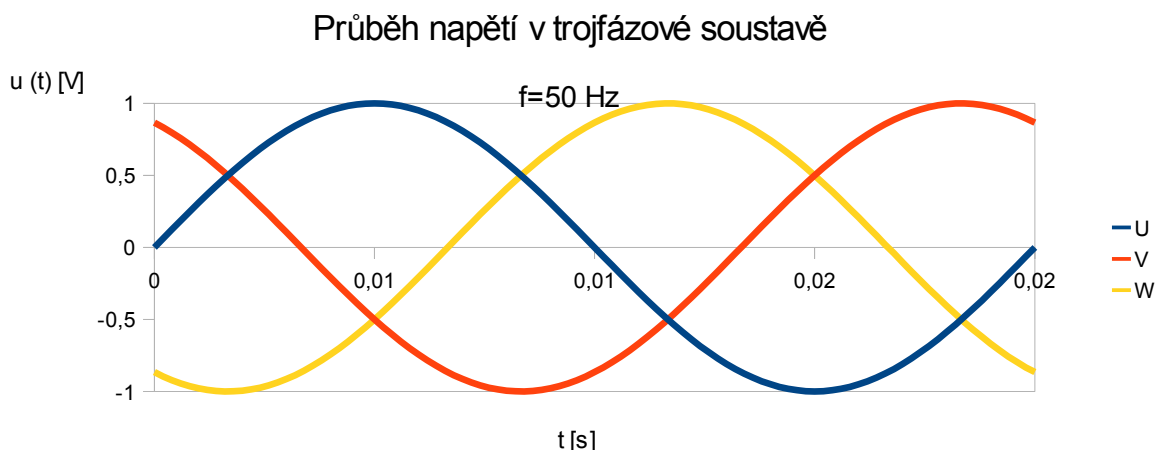
#### Teoretický úvod:

Trojfázová soustava je soustava, jenž je tvořena třemi různými fázemi, jenž mají stejnou amplitudu, ale mají vůči sobě fázový posun  $120^\circ$ . Trojfázová napěťová soustava se používá, z důvodu snažšího přenosu vysokých výkonů. V trojfázové soustavě lze hovořit o dvouch druzích napětí:

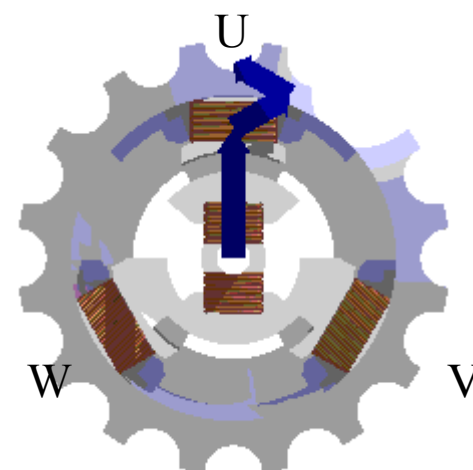
fázové  $U_f$  – napětí fáze vůči zemi. Toto napětí v naší soustavě činí 230V

sdužené  $U_s$  – napětí mezi dvěma různými fazemi. Vztah mezi fázovým a

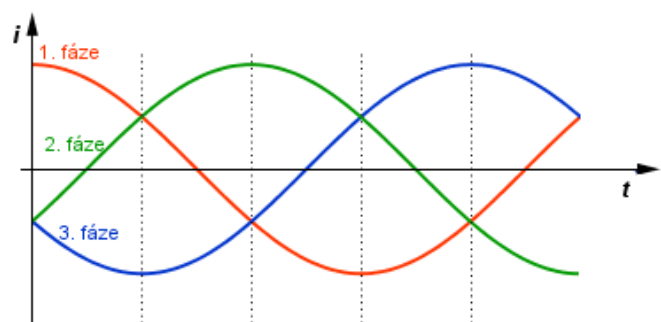
sduženým napětím je  $U_s = \sqrt{3} \cdot U_f$ . V naší soustavě činí sdužené napětí 400V.



Trojfázová soustava se nejčastěji používá pro provoz elektrických motorů. Základní konstrukce je znázorněna na obr. 1. Motor je tvořen třemi cívkami, na každou z nich je přivedena jiná fáze (U, V a W). Rotor je zde pro zjednodušení permanentní magnet, jde tedy o synchronní motor. Pokud je například na fázi U maximální kladné napětí přitahuje maximální silou sever magnetu. V tu samou chvíli má napětí fáze V i W zápornou hodnotu rovnou přesně polovině maximálního napětí. Výsledný vektor fáze V a W tedy přitahuje jih motoru přesně mezi vinutí cívky V a W. Za 6,66ms, což je čas za který se motor otočí o  $120^\circ$ , má nejvyšší kladné napětí fáze V, a tedy nejvíce přitahuje sever rotoru. Fáze W i U má v totožnou dobu napětí záporné o velikosti poloviny napětí fáze V. Výsledný vektor přitahuje jih rotoru přesně mezi fáze W a U. To samé samozřejmě platí po dalších 6,66ms s fází W. Jednotlivé ukázky natočení motoru v závislosti na velikosti jednotlivých fázích



Obr 1: Trojfázový motor

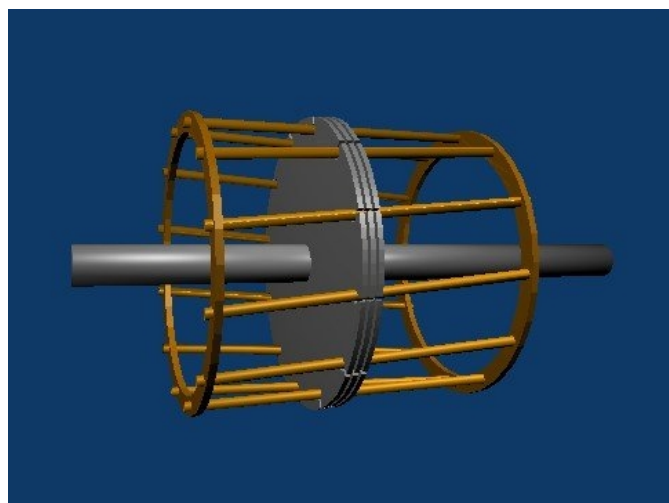


Obr 2: Natočení motoru v závislosti na velikosti fází

jsou vidět na obr. 2. K otáčení samozřejmě nedochází trhavě. Výsledný vektor magnetického pole se otáčí spojitě v čase po obvodu rotoru.

Frekvence otáčení je, u nejjednoduššího motoru – dvoupólového, stejná jako frekvence napěťové soustavy. V naší elektrické síti má tedy dvoupólový motor frekvenci otáčení 50Hz, což odpovídá 3600 otáček za minutu.

Motor, jenž má jako stator permanentní magnet, se nazývá motor synchronní, protože má otáčky přesně shodné s frekvencí sítě. Dalším druhem je motor asynchronní, jenž má rychlost otáčení nižší o takzvaný skluz. Rotorem



Obr 3: Klecový rotor

asynchronního motoru není permanentní magnet, ale klecový rotor s kotvou nakrátko (viz Obr 3).

Magnetické pole, jenž vzniká při průchodu proudu státorem, se indukuje do tyčí klecového rotoru, podobně jako se indukuje proud do sekundárního vinutí transformátoru. Tento naindukovaný proud vytváří magnetické pole, které má tendenci sledovat magnetické pole statoru. Klecový rotor má zde podobnou funkci jako rotor z permanentního magnetu. Aby však docházelo k indukování proudu do rotoru musí se magnetické pole statoru otáčet rychleji nežli rotor. Tento jev se

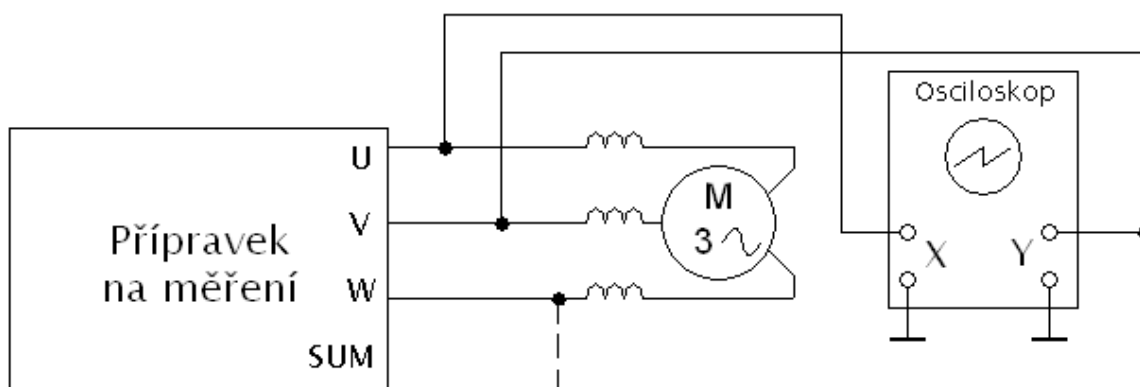
nazývá skluz:  $s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100$  [%]. Kde  $s$  je skluz rotoru,  $n_s$  je počet otáček

statoru a  $n_r$  počet otáček rotoru za určitý čas. Skluz bývá 3% až 8%. U velkým motorů může být dokonce okolo 1%.

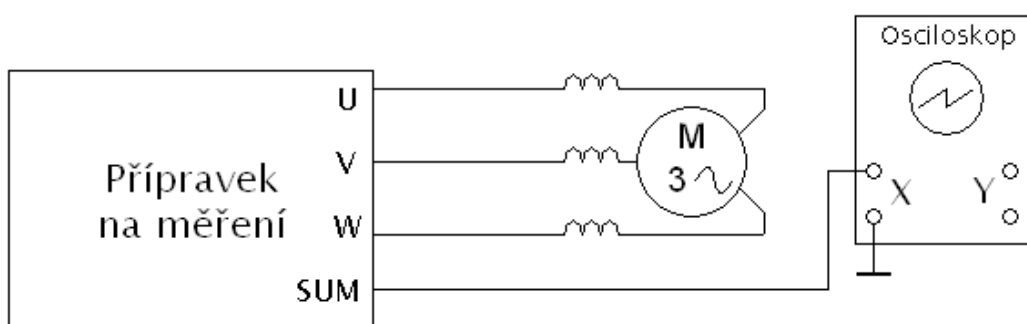
Rychlost otáčení motoru lze regulovat změnu frekvence či změnou počtu pólů. Výhodou regulace otáček změnou frekvence je možnost plynulé změny, nevýhodou je náročnost (cena) provedení. Změna počtu pólů se provádí při výrobě motoru a to počtem cívek. Nevýhodou je možnost změny pouze skokově (nelze zvolit přesnou frekvenci otáčení) a to pouze v podílech základního počtu otáček za

minutu. Rychlost otáčení:  $n_o = \frac{2 f}{p} \cdot 60$  [ot/min], kde  $f$  je frekvence a  $p$  je počet pólů motoru.

## Schéma zapojení:



Obr. 12: Schéma zapojení pro měření průběhů trojfázové napěťové soustavy



Obr. 13: Schéma zapojení pro měření signálu za jednocestným trojfázovým usměrňovačem

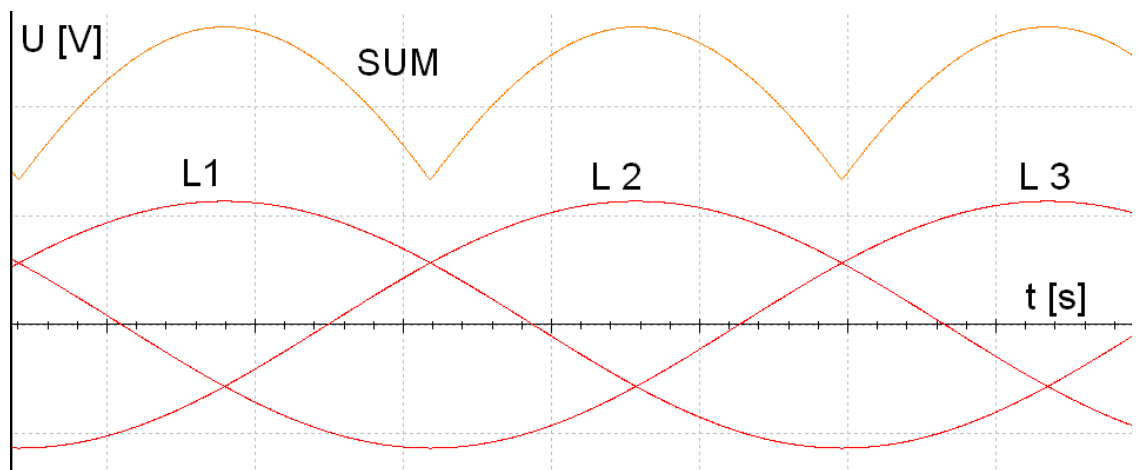
## Postup měření:

Měření se bude provádět pomocí digitálního osciloskopu. Jeden vstup digitálního osciloskopu (channel 1) připojíte na fázi U. Druhý vstup digitálního osciloskopu (channel 2) připojíte na fázi V. Nastavíte osciloskop tak, aby byly vidět alespoň dvě periody. Tento napěťový průběh uložíte do počítače. Tento postup zopakujete ještě dvakrát pro zbylé dvě kombinace fází (VW a UW).

Nyní připojíme k osciloskopu výstup SUM, dle schéma 2. Opět nastavíme signál, aby byly vidět alespoň dvě periody a průběh vytiskneme.

Fáze U, V a W a výstup jednocestného trojfázového usměrňovače jsou vyvedeny na panelu přípravku ve formě BNC konektorů, které lze jednoduše propojit s osciloskopem.

## Předpokládaný průběh:



## Použitá literatura:

[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=506)

[xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=506](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=506)

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>

## Zadání měření na indukční peci

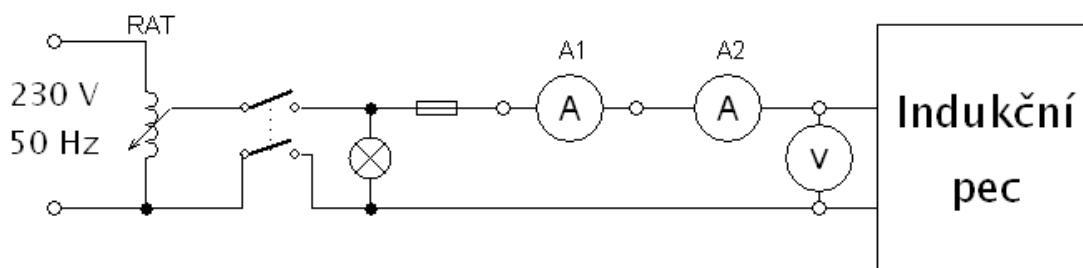
### Zadání:

1. Změřte proud, jenž teče sekundárním vinutím, a ověřte ho s vypočítanou hodnotou, která vychází z primárního proudu a transformačního poměru.

### Teoretický úvod:

- Definice transformátoru.
- Uveďte vztahy mezi primárním a sekundárním napětím (proudem)
- Uveďte vztahy pro účinnost transformátoru
- Princip indukční pece
- Použití indukční pece

### Schéma zapojení:



### Postup měření:

Změřte proud, jenž protéká sekundárním vinutím. Poté tuto hodnotu ověřte dle transformačního poměru a primárního proudu.



## Naměřené hodnoty:

I1 [A]	
I2-naměř [A]	
I2-vypoč [A]	

## Příklad výpočtu:

$$I_{2 \text{ vypoč.}} = \frac{N_1 \cdot I_1}{N_2}$$

## Závěr:

Porovnejte naměřené a vypočítané hodnoty.

## Zpracování měření na indukční peci

### Zadání:

1. Změřte proud, jenž teče sekundárním vinutím, a ověřte ho s vypočítanou hodnotou, která vychází z primárního proudu a transformačního poměru.

### Teoretický úvod:

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který pro svou činnost využívá zákonu magnetické indukce. Transformátor je tvořen třemi částmi: primární vinutím, sekundární vinutím a magnetický obvod. Proud, jenž prochází primárním vinutím, vygeneruje magnetický indukční tok. V sekundární cívce se vlivem Faradayova

indukčního zákona indukuje sekundární napětí.  $u_2 = - N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ . Závislost

výstupního (sekundárního) napětí a proudu transformátoru na vstupním (primárním) napětí a proudu vyjadřuje převodní charakteristika transformátoru:

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}, \text{ kde veličiny s indexem 1 popisují vlastnosti primárního}$$

vinutí a veličiny s indexem 2 popisují vlastnosti sekundárního vinutí. N zde označuje počet závitů, U napětí a I proud. Transformátor tedy dle výše uvedené rovnice převede signál o vysokém napětí a nízkém proudu na signál o nízkém napětí a vysokém proudu či naopak. Důležitou vlastností transformátoru je jeho účinnost. Tu

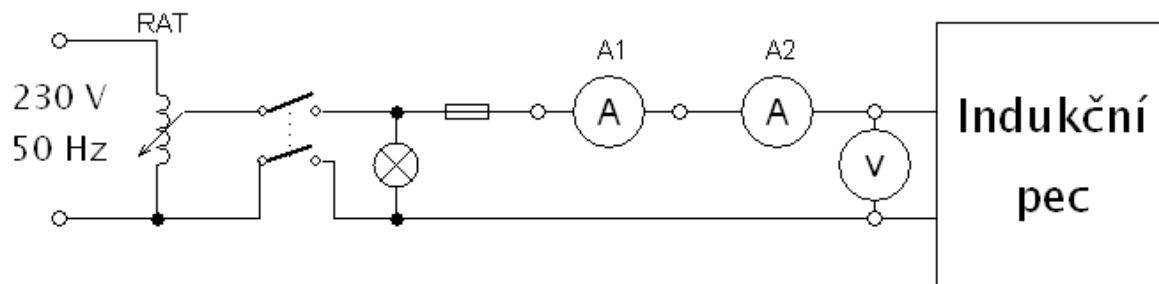
lze spočítat jako podíl výstupního a vstupního výkonu.  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ . Indukční pec

vlastně představuje transformátor s velkým počtem závitů na primárním vinutí a pouze jedním závitěm na sekundárním vinutí, což má za následek velmi vysoký sekundární proud. V průmyslově vyráběných indukčních pecích tvoří sekundární vinutí grafitový kelímek, do kterého se vloží materiál, jenž chceme tavit. Materiál, jenž chceme tavit, zde tvoří sekundární vinutí – závit nakrátko. Průchodem proudu tímto materiálem dochází k výkonovým ztrátám, jenž lze snadno odvodit z ohmova

zákona  $P = R I^2$  . Tento výkon se uvolní ve formě tepla. Z toho vyplývá, že v indukční peci lze zavít pouze vodivé materiály.

Indukční pec se používá v průmyslu zejména pro tavení kovového materiálu. Výhodou kvalitních pecí je jejich vysoká účinnost.

### Schéma zapojení:



### Postup měření:

Změřte proud, jenž protéká sekundárním vinutím. Poté tuto hodnotu ověřte dle transformačního poměru a primárního proudu.

### Naměřené hodnoty:

$I_1$ [A]	5
$I_2$ -naměř [A]	3200
$I_2$ -vypoč [A]	3275