

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## VLIV PLECHŮ Z AMORFNÍ OCELI NA PROSTUPNOST RUŠENÍ TRANSFORMÁTORŮ

INFLUENCE OF TRANSFORMER LAMINATION FROM AMORPHOUS STEEL ON PERMEABILITY  
DISTURBANCE BY TRANSFORMERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. PAVEL KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JOSEF PAVLÍK



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Konečný

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukce strojů a zařízení (2302T010)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Vliv plechů z amorfní oceli na prostupnost rušení transformátory**

v anglickém jazyce:

#### **Influence of transformer lamination from amorphous steel on permeability disturbance by transformers**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zjistěte, jak se změní propustnost transformátoru pro rušení při použití magnetického obvodu z amorfní oceli oproti plechům v současnosti používaným a popřípadě jak.

Cíle diplomové práce:

- prověřte prostupnost plechů z amorfní oceli i plechům v současnosti používaným pro vyšší harmonické v určeném rozsahu
- proveďte prostupnost plechů z amorfní oceli i plechům v současnosti používaným pro rušení vybranými neharmonickými kmitočty

Seznam odborné literatury:

- Energetické rušení v distribučních a průmyslových sítích : [ERU '96] : vyšší harmonické, kolísání napětí, nesymetrie a impulsní rušení : [sborník přednášek]
- Nízkofrekvenční rušení ISBN 80-7082-976-1
- internetové zdroje

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Pavlík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 18.11.2009

L.S.

---

Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

# Abstrakt

Vliv plechů z amorfni oceli na prostupnost rušení transformátory

Tato diplomová práce zachycuje rozdíl mezi současně používanými materiály a amorfními plechy, sloužící jako jádra transformátorů. Testování zkušebních vzorků probíhá při frekvenci 50-2500Hz. Měřením pak získáme materiálové charakteristiky a vyhodnotíme jejich průběh na zpětné působení na síť.

Influence of transformer lamination from amorphous steel on permeability disturbance by transformer

This diploma work is about difference between current materials and amorphous plates which are used as pivots of transformers. Samples are tested by frequency 50-2500 Hz. By using more suitable materials we avoid the unallowable electromagnetic interruption better and we get more positive continuance of the retroactivity on the net.

# Čestné prohlášení


Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval sám za pomoci vedoucího diplomové práce, literatury a dokumentačních materiálů a ostatních zdrojů, které mi byly poskytnuty a jsou uvedeny v závěru práce.

V Brně dne 27.6.2010

.....

# OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY .....	1
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY .....	1
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS .....	1
1. Princip Transformátoru.....	9
1.1. Jednotlivé části transformátoru .....	9
1.1.1. Jádru .....	9
1.1.2. Vinutí .....	9
2. Rušení – vyšší harmonické .....	10
2.1. Zdroje rušení .....	10
2.2. Způsoby snížení zpětného působení spotřebičů na síť .....	11
2.2.1. Zapojení odrušovacích filtrů .....	11
2.2.2. Rozvoj techniky .....	11
3. Magnetické vlastnosti látek .....	12
3.1. Diamagnetické látky .....	12
3.2. Paramagnetické látky .....	12
3.3. Feromagnetické látky .....	12
3.3.1. Základní vlastnosti feromagnetických látek .....	12
4. Výroba transformátorových plechů .....	13
4.1. Podstatné technologické operace ovlivňující jakost izolačního povlaku .....	13
4.1.1. Oduhličení a tvorba fayalitu .....	14
4.1.2. Válcování za studena .....	14
4.1.3. Odmašťování a nanášení MgO .....	14
4.1.4. Technologické operace na termorovnacích linkách .....	14
5. Amorfnní magnetické materiály .....	15
5.1. Výrobní postup.....	15
5.2. Historie .....	16
5.3. Využití amorfnních materiálů .....	16
5.4. Nanokrystalické materiály .....	16
5.5. Slitiny magnetických obvodů .....	16
5.5.1. Amorfnní slitiny na bázi Fe .....	17
5.5.2. Amorfnní slitiny na bázi FeNi .....	17
5.5.3. Amorfnní slitiny na bázi Co .....	17
5.6. Výrobci distribučních transformátorů a magnetických obvodů .....	18
5.7. Porovnání parametrů .....	18
5.7.1. Porovnání technických parametrů třífázových distribučních transformátorů s měděným vinutím o výkonu 250kVA/22kV .....	19
5.7.2. Porovnání technických parametrů třífázových distribučních transformátorů s měděným vinutím o výkonu 1000kVA/10kV .....	20
6. Měřená transformátorová jádra .....	21
6.1. Konstrukce toroidních vzorků .....	22
6.1.1. Parametry elektrotechnického plechu toroidního jádra .....	22

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6.1.2.	Parametry nanokrystalického toroidního jádra .....	23
6.2.	Určení parametrů vinutí a navinutí .....	24
6.3.	Průběh přípravy transformátorových jader .....	24
7.	Měřicí soustava .....	27
8.	Postup jednotlivých měření .....	30
8.1.	Použité výpočetní vzorce .....	31
8.2.	Hodnoty transformátorů naprázdno .....	31
8.3.	Hodnoty transformátoru při jmenovitém zatížení .....	34
8.4.	Hodnoty transformátorů při 200% zatížení .....	41
9.	Vyhodnocení měření .....	48
10.	Závěr .....	50

## 1. Princip Transformátoru

Jedná se o netočivé elektromagnetické strojní zařízení, které pracuje na principu elektromagnetické indukce, kde se časovou změnou indukuje ve vodičích napětí. Tzn., že pokud dochází k časové změně magnetického toku v uzavřeném elektrickém obvodu, vzniká ve vodičích elektrický proud. Strojní části musí splňovat takové podmínky, aby bylo možno splnit podmínky elektromagnetické indukce. Transformátory se obecně využívají ke změně napětí střídavého proudu (zvyšovací, snižovací, oddělovací) při konstantní frekvenci.

### 1.1. Jednotlivé části transformátoru

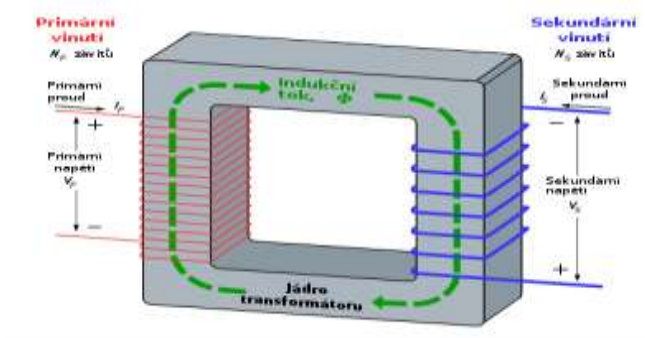
Základem transformátoru jsou dvě cívky (primární a sekundární), navinuté na kovovém jádře. Jádro transformátoru je složeno z navzájem izolovaných plechů nebo v našem případě stočeného plechového pásu do svitku. Podle tvaru transformátorových plechů a uspořádání cívek se transformátory dělí na jádrové, plášťové a speciální. Dle počtu fází jsou děleny na jednofázové, trojfázové nebo vícefázové.

#### 1.1.1. Jádro


Jádro, se rozumí část, která vytváří magnetický obvod a má výrazný vliv na ztráty celého stroje. Zprostředkovává přenos energie mezi primárním a sekundárním vinutím. Výroba jader transformátorů se může u různých výrobců podstatně lišit, avšak hotové jádro musí splňovat určité parametry dle normy: ČSN EN 10107 PLECHY A PÁSY PRO ELEKTROTECHNIKU.

#### 1.1.2. Vinutí

Typický materiál pro vinutí elektrických strojů je používána měď. Uspořádání vinutí tvoří cívku, která izolovaně obepíná jádro transformátoru. Primární vinutí slouží k převodu elektrické energie na magnetickou i naopak. Požadavky na izolaci jsou z hlediska ztrát dosti náročné a musí odolávat celé řadě namáhání. Vlivem střídavého magnetického toku se v obou cívkách indukují napětí, která jsou přímo úměrná časové změně magnetického toku a počtu závitů.



Obr. 1 Základní princip transformátoru [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 2. Rušení – vyšší harmonické

Rušení je jev, u kterého dochází k negativnímu ovlivnění správnosti chodu elektronických zařízení rušivým vysokofrekvenčním signálem. Rušivá napětí v napájecí energetické síti mají řadu podob a projevují se různými způsoby deformace harmonického napájecího napětí 50 či 60 Hz. V dnešní době jsou silové (napájecí) a slaboproudé vodiče a kabely vedeny společnými trasami a mohou na sebe vzájemně působit. Elektromagnetická kompatibilita je vlastnost elektrického nebo magnetického zařízení nepůsobit na okolí včetně sama sebe a také odolávat okolním vlivům.


### 2.1. Zdroje rušení

Rušivý signál je generován nesprávnou nebo nežádoucí funkcí elektrických zařízení. Častým zdrojem rušení jsou nekvalitně vyrobené měniče napětí, které pracují s frekvencemi desítek kHz. Může to být i signál původně žádoucí, vyskytující se na nesprávném místě. Rušivé signály vznikají u drobných elektrických spotřebičů, ventilátorů, mixérů, ručního elektrického nářadí apod. Důvodem je řada přechodových jevů spojených se spínacími nebo rozpínacími pochody mechanických či elektrických spínačů. Rušivý signál se šíří jak elektromagnetickým zářením, tak po elektrorozvodné síti. Projevem je praskání ve zvuku a čáry přes obrazovku.

*Další typ rušení, které souvisí se spínacími pochody, vzniká v usměrňovačích diodového typu a zejména v systémech tyristorového řízení výkonových průmyslových zařízení, např. tramvají, trolejbusů, lokomotiv, ale i při tyristorové regulaci otáček velkých motorů, např. u výtahů a podobných zařízení. Při činnosti těchto obvodů a zařízení jsou opakovaně spínány velké proudy, takže zde vznikají rušivá napětí v podobě periodicky se opakujících impulzů, které značně deformují průběh napájecího napětí a jejichž kmitočtové spektrum sahá do desítek MHz. Jsou-li tyto usměrňovače a tyristorové spínače, regulátory či měniče připojeny k energetické napájecí síti přímo bez patřičné filtrace, příp. bez přepětových ochran, deformují svými výstupními průběhy síťové napětí do té míry, že mohou způsobit celoplošné výpadky energetické sítě.*

*Dalším zdrojem poruch mohou být tzv. spínané napájecí zdroje, u nichž se síťové napětí 50 Hz transformuje na požadované (obvykle nižší) stejnosměrné napětí prostřednictvím pomocného harmonického napětí s kmitočtem řádu až stovek kHz. Tím se výrazně zmenší rozměry potřebných transformátorů a zvýší se účinnost celého zdroje, což je ovšem zapláceno výrazným vyzařováním širokého spektra rušivých kmitočtů. Protože spínací impulzy jsou strmé, vzniká velké množství harmonických a dochází k silnému vyzařování rušivých signálů. Velikost vyzařování závisí i na velikosti odběru z napájecího zdroje. Aby nedocházelo k rušivému ovlivňování vnější napájecí elektrické sítě je nutno vybavit zdroj účinnými odrušovacími filtry. Tyto napájecí zdroje se používají hlavně pro napájení počítačů, ale i řady dalších zařízení moderní spotřební elektroniky.*

*Značně silné rušící účinky vykazují venkovní energetická vedení vysokého (vn) a velmi vysokého (vvn) napětí. Patří k těm zdrojům rušení, která se obtížně vyhledávají a ještě obtížněji odstraňují. Produkované rušivé spektrum sahá od několika kHz až k 1000 MHz, takže může negativně ovlivnit provoz jakékoli radiokomunikační služby.*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 2.2. Způsoby snížení zpětného působení spotřebičů na síť

Jelikož zdrojů rušení je celá řada, je nutné vždy uvážit vhodný způsob, jak případné rušení eliminovat na přípustnou hodnotu, v ideálním případě úplně odstranit. Avšak snadno může dojít ke vzniku rušivých signálů i do dosud nepostižených míst.

Schopnost elektronického zařízení nerušit jiná zařízení a odolávat rušení zvnějšku se nazývá elektromagnetická kompatibilita (EMC). *Elektromagnetická kompatibilita, jakožto samostatná vědeckotechnická disciplína, vznikla v šedesátých letech v USA a poměrně dlouhou dobu 10 až 15 let byla předmětem zájmu jen úzkého okruhu odborníků v elektrotechnice, pracujících ve vojenském a kosmickém průmyslu. S prudkým rozvojem elektroniky, zejména mikroprocesorové techniky, zvyšováním výkonů, rozšiřováním kmitočtových pásem, nahrazováním kovů plasty, zvyšováním přenosových rychlostí, digitalizací ap. v posledních desetiletích a jejím pronikání prakticky do všech oblastí každodenního života ztratila EMC svoji exkluzivnost a stále více se dotýká nás všech.* [3]

### 2.2.1. Zapojení odrušovacích filtrů

Z praxe je známo, že každé elektrické zařízení musí být na vstupní straně opatřeno účinným filtrem, aby splňovalo všechny podmínky pro připojení na energetickou síť. Tuto skutečnost musíme brát v úvahu již při konstrukci nových zařízení a při návrhu musíme zohlednit všechny požadavky.


Z hlediska filtrů máme v podstatě dvě možnosti. První možností je použít již hotový filtr, který je dodáván výrobcem. V tomto případě si podle našich podmínek a parametrů vybereme z katalogu vhodný typ filtru a zapojíme do sestavy. Tato možnost ale nejde použít pokaždé, protože většina filtrů je dodávána se sítovou zásuvkou a není možná další úprava.

Převážná část impulsních zdrojů má odrušovací filtr realizován přímo na desce plošného spoje společně s impulsním zdrojem. V tomto případě musíme zachovat určitá pravidla jak pro rozmístění prvků filtru, tak i vhodně zvolené typy součástí filtru.

### 2.2.2. Rozvoj techniky

Využíváme stále nové procesy, které vedou ke zlepšení původního stavu, jak z hlediska technologického tak i ekonomického. Velké pokroky v technice jsou snad ve všech odvětvích a neustále se rozvíjí.

Ocel, slitina železa s různými příměsemi uhlíku a dalších prvků, má obvykle krystalickou strukturu. Její vnitřní struktura je tvořena krystalickou mřížkou. Pokud se však rychle vyrobí z kapalné fáze, může vzniknout atypická struktura pevné látky. Amorfni látky jsou pojeny na bázi molekul. Celé tajemství spočívá v nalezení správných podmínek a chemického složení takové slitiny. Některé amorfní (skleněné) slitiny obsahující železo se používají v jádrech transformátorů, tedy v elektrických zařízeních pro transformaci elektřiny z jednoho elektrického napětí na jiné. Tyto slitiny zmenšují ztráty transformátorů až o dvě třetiny (při stavu naprázdno).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3. Magnetické vlastnosti látek

Každá látka má své specifické vlastnosti ať už má pevné, kapalné či plynné skupenství. Je mnoho faktorů, které mohou za určitých okolností tyto charakteristické parametry měnit. Magnetické látky můžeme rozdělit dle jejich vlastností do tří skupin a to podle uspořádání elektronů v atomu.

#### 3.1. Diamagnetické látky

Tyto materiály mají relativní permeabilitu nepatrně menší než 1 ( $\mu_r < 1$ ). Jednoduše řečeno, tyto látky mírně zeslabují magnetické pole. V tomto případě jde o zlato, měď, rtuť, a jiné. Permeabilita je fyzikální bezrozměrná veličina, která charakterizuje magnetické vlastnosti látek. Hodnoty relativní permeability závisí na čistotě materiálu.

#### 3.2. Paramagnetické látky

Permeabilita těchto materiálů je nepatrně větší než 1 ( $\mu_r > 1$ ). Tyto látky mírně zesilují magnetické pole. Zde můžeme zařadit draslík, sodík, hliník, a jiné. Atomy těchto látek mají vlastní magnetické pole. Paramagnetickou látku není možné trvale zmagnetovat. Magneticky působí pouze v přítomnosti magnetu.

#### 3.3. Feromagnetické látky

Jejich relativní permeabilita je mnohem větší než 1 ( $\mu_r \gg 1$ ). Již slabým magnetickým polem lze u nich vyvolat takové uspořádání atomů, že se magnetické pole zesílí a dojde ke zmagnetování látky. Magnetické pole ve feromagnetické látce zůstává, i když vnější pole pomínene. Feromagnetická látka je tvořena atomy s vlastním magnetickým polem stejně jako látka paramagnetická, avšak rozdíl je v jiném uspořádání atomů a tedy i v jiném vzájemném silovém působení.

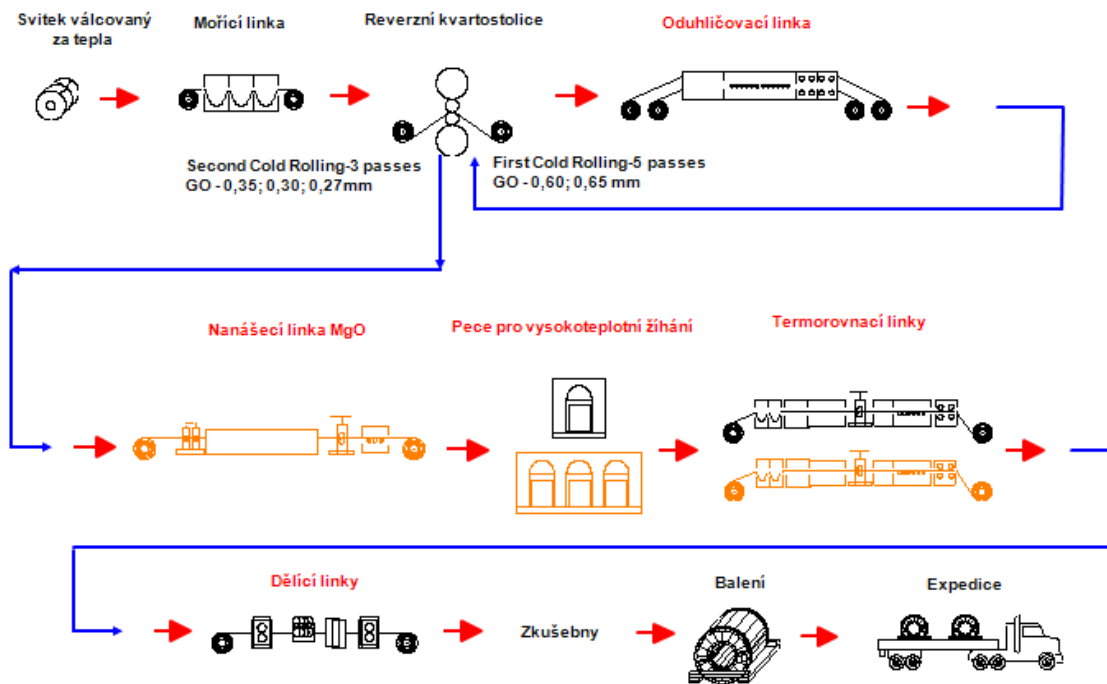
##### 3.3.1. Základní vlastnosti feromagnetických látek

*Feromagnetické látky mají značný praktický význam v elektrotechnice, vyrábějí se z nich jádra cívek v elektromagnetech, transformátorech, elektrických strojích. Feromagnetismus se projevuje pouze, je-li látka v krystalickém stavu. V případě kapalného nebo plynného skupenství se chovají jako látky paramagnetické. Feromagnetismus je tedy vlastností struktury a ne jednotlivých atomů. Pro každou feromagnetickou látku existuje Curieova teplota, kdy při překročení látka ztrácí feromagnetické vlastnosti a stává se látkou paramagnetickou. Tedy, pokud chceme získat magnet, musíme feromagnetickou látku zahřát na Curieovu teplotu a nechat ji poté chladnout v magnetickém poli. [4]*

## 4. Výroba transformátorových plechů

Je celá řada podniků, které se zabývají výrobou transformátorových plechů. Každá z nich má (v rámci konkurenčního boje) odlišný postup výroby. Pro ukázkou je použito výrobní schéma firmy ArcelorMittal Frýdek-Místek a.s.

Jednotlivá pracoviště výrobní linky mají vliv na výstupní parametry celku. Ty pak musí splňovat normu ČSN EN 10107.



Obr. 2 Výrobní schéma toroidního jádra [5]

### 4.1. Podstatné technologické operace ovlivňující jakost izolačního povlaku

Jak již bylo řečeno, každé výrobní pracoviště zajišťuje kvalitu a homogenitu výrobku. Výsledné magnetické vlastnosti se pak určují na přesně definovaných zkušebních vzorcích, které jsou prověřeny a vyhodnoceny v laboratoři. Každý výrobek je brán jako unikát a nese s sebou písemnou dokumentaci.

#### 4.1.1. Oduhličení a tvorba fayalitu

Cílem oduhličujícího žíhání je snížit obsah uhlíku v pásu z 0,025 – 0,040 % na méně než 0,004 % vytvořit na povrchu pásu řízenou vrstvu fayalitu. Docílíme tím lepší čistoty a homogenity materiálu. Oduhličení se provádí v průběžných pecích na dvoupásové oduhličovací lince. Reakce probíhají ve směsi atmosfér: vodík ( $H_2$ ) + dusík ( $N_2$ ) + vodní pára ( $H_2O$ ), při teplotách 780 – 850°C. Doba potřebná pro oduhličení pro tloušťku pásu 0,65-0,60 mm = 5 – 7 min a závisí na obsahu uhlíku v pásu. Tloušťka a chemické složení fayalitu mají zásadní vliv na pozdější tvorbu forsteritu.

#### 4.1.2. Válcování za studena

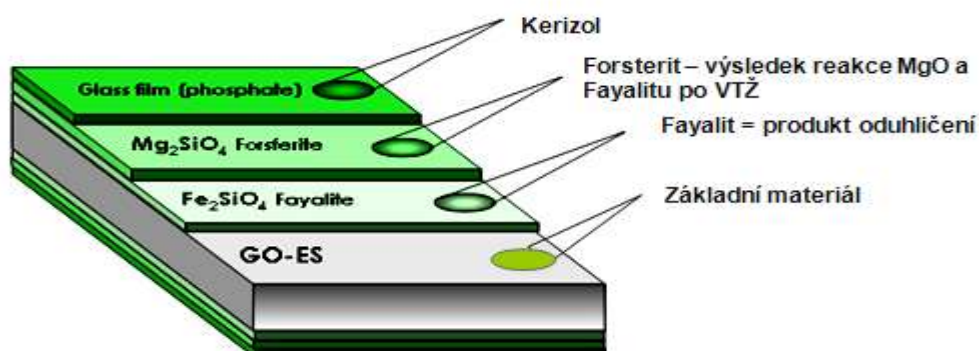
Válcování pásu z tloušťky 0,65-0,60 mm na finální tloušťku 0,35 – 0,27 mm. Je nutné dodržet přesný rozměr a to z důvodu, že na pás se zhoršenou rovinností lze jen obtížně nanést rovnoměrnou vrstvu izolačních povlaků.

#### 4.1.3. Odmašťování a nanášení MgO


Odmastit pás na čistotu, kde váha nečistot je menší než 10 mg/m<sup>2</sup>. Pečlivě dodržovat technologický předpis, kontrola stupně odmaštění je obtížná. Oboustranně nanesená vrstva MgO slouží jako žíhací separátor, který zabraňuje svaření závitů svitků při vysokoteplotním žíhání a umožňuje průnik ochranné atmosféry (vodík, příp. vodíko-dusíková směs) mezi závity svitků. Nanesená vrstva MgO podporuje rafinaci při žíhání (odstranění síry a dusíku při teplotě 1150 - 1200°C).

#### 4.1.4. Technologické operace na termorovnacích linkách

Na moderních termorovnacích linkách jsou sdruženy operace dokonalého odstranění nezreagovaného MgO a musí se zabránit kontaminaci povrchu všeho druhu. Potom přichází na řadu lehké moření, které odstraní z pórů základové vrstvy nesmyté částice. Na takto upravený povrch se nanáší fosfátový povlak na bázi fosforečnanu hořčíku, hliníku nebo obou. Izolační povlak získá potřebné vlastnosti pro použití v jádrech transformátorů až po nanášení fosfátového povlaku.



Obr. 3 Vrstvy ovlivňující jakost izolačního povlaku [5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5. Amorfni magnetické materiály

Jde o výrobu plechů určenou pro stavbu výkonových transformátorů, metodou rychlého ochlazení. Tato technologie umožňuje vyrábět pásy o tloušťce několika desítek mikronů, řádově 0,02 mm. Největší šířka vyráběných pásů je cca 500 mm. Ve srovnání doposud nejlepší ocelí pro elektrotechniku mají jen třetinové ztráty.

Rychlé chlazení z tekutého stavu do pevného dojde za 1 až 2 ms. To způsobí zamezení růstu krystalického zrna. K tomuto rychlému ochlazení dochází na rotujícím válci, na který je nanesen tekutý kov.


Následkem tohoto postupu je amorfni struktura s velmi odlišnými vlastnostmi v porovnání s typickými kovovými krystalickými látkami. Amorfni materiály mají velký elektrický odpor, velkou pevnost, vysokou ořezovzdornost a korozivzdornost. Až na polovinu je omezena tepelná stabilita (jsou použitelné do poloviny Curieho teploty). Při vyšší teplotě dochází k rekystalizaci a ke ztrátě typických vlastností těchto materiálů. Amorfni magnetické materiály se vyznačují vysokou permeabilitou a nízkou koercivitou (1-2 A/m) a mají nízkou magnetickou anizotropii. Dobře snášejí mechanické deformace bez ovlivnění magnetických vlastností, což hraje významnou roli v životnosti zařízení. Výrobky z těchto materiálů mají mnohem menší ztrátový výkon, avšak jejich výrobní náklady jsou mnohokrát dražší.

*U transformátorů s výkonem nad 100 kVA z celkových ztrát připadá asi 50 % na ztráty způsobené magnetickým materiálem jádra. U transformátorů s výkonem nad 10 kVA asi 25 %. U transformátorů s výkonem do 1 kVA kolem 10 %. Uvažujme transformátor s výkonem 1 kVA s účinností 95 % a podílem ztrát v jádru 20 %. Na jádro připadá tedy 10 W ztrátového výkonu. Vezmeme-li na složení jádra tak kvalitní plech, že ztráty se sníží na polovinu, zvýší se účinnost tohoto transformátoru jen o 0,5 %. Z toho vyplývá, že kvalitnější magnetické materiály se uplatní spíše v rozvoji velkých transformátorů a elektrotechnických zařízení. U malých transformátorů je volba vhodného materiálu záležitostí ekonomickou. [6]*

### 5.1. Výrobní postup

Způsobů výroby amorfni ocelí bylo mnoho, avšak princip zůstává stále stejný. V současné době je nejpoužívanější výrobní postup s použitím technologie rovinného lití. Tavenina je vytlačena z tavicí nádoby za přesně stanovených podmínek přes štěrbinovitou trysku na, většinou dusíkem chlazený, rotující válec, na kterém pak tavenina hned tuhne a to ve formě tenkého pásu (rychlost ochlazování řádově  $10^6 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ ), který opustí chladicí válec před uskutečněním jedné otáčky. Výroba je rychlá a během několika minut jsou vyrobeny stovky metrů pásu o tloušťce v rozmezí 0,02 až 0,05 mm, šířce 10 až 50 mm.

*Bylo spočteno, že při výrobě tenkého pásu s amorfni strukturou se spotřebuje až 5 x méně energie, než kdyby se tvarově podobný výrobek vytvořil stávající klasickou technologií. Odpadají totiž technologické operace tavení a odlévání ingotů, jejich ohřev a válcování za tepla, moření, válcování za studena, žhání, mezioperační moření a podélné dělení, které jsou nutné při klasické technologii. [7] Viz kapitola 4.*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5.2. Historie

*Jedná se o materiál poměrně mladý. Jeho objev byl učiněn zhruba před 25 lety, poprvé byla vyrobena výzkumníky americké Národní laboratoře v Oak Ridge do sériové výroby byl zaveden v roce 1979, takže celá šíře oblasti aplikace zdaleka ještě není známa. V Evropě se tento materiál vyrábí v Německu, Rusku a Polsku. U nás do roku 1989 se prováděl výzkum ve VÚHŽ, Dobrá u Frýdku – Místku. [7]*

## 5.3. Využití amorfních materiálů

Pro své mimořádné vlastnosti si amorfnní látky nachází řadu uplatnění. Jako např. silové transformátory velkých výkonů. Tato zařízení tvoří významné množství. Dále se tyto materiály díky velké indukci nasycení jádra, což umožní zmenšení rozměrů, jsou výhodná pro jádra tlumivek s přemagnetováním. Další využití nalezneme u magnetofonových hlav, magneticky regulovaných usměrňovačů, spínacích zdrojů, v místech potřeby stínění a v neposlední řadě nacházíme využití u magnetických filtrů.


Při snižující se velikosti zrn materiálu se zvětšuje jejich povrch. Pro kovové materiály to znamená zvýšení pevnosti, tvrdosti, elektrického odporu a magnetických vlastností. Dochází ke snížení teplotní vodivosti. Průmyslové využití těchto látek se posunuje neustále dopředu.

## 5.4. Nanokrystalické materiály

Amorfnní a nanokrystalické slitiny se od sebe odlišují použitými doprovodnými prvky, což vede k rozdílnému uspořádání struktury. Výrobní princip je téměř shodný, při kterém dochází k rychlému ochlazení.

## 5.5. Slitiny magnetických obvodů

Je hned několik odlišných materiálů, kterých používáme k výrobě amorfnního kovu. Na základě použité příměsi se mohou mechanické a magnetické vlastnosti lišit. Nejčastěji používané slitiny pro výrobu magnetických obvodů budou blíže popsány v následujících podkapitolách.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 5.5.1. Amorfnní slitiny na bázi Fe

Obsahují levné suroviny jako např. Fe, Si, B a C a vyznačují se vysokými hodnotami indukce nasycení  $B_s$ . Při současně nízkých ztrátách, mají velkou teplotní stabilitu (největší ze všech amorfnních kovů). Jsou to materiály, které mají při extrémně nízkých magnetizačních ztrátách 0,16 W/kg (při frekvenci 50 Hz a  $B_{max} = 1,45$  T). Indukci nasycení  $B_s = 1,56$  T. Maximální permeabilitu  $\mu_{max} = 600\ 000$ . Počáteční permeabilitu  $\mu_4$  od 6000 do 20 000.

S ohledem na tyto parametry a nízké ceny jsou tyto materiály určeny k výrobě magnetických obvodů pro distribuční a výkonové transformátory, tj. pro zařízení, kde je požadována vysoká permeabilita při nízkých ztrátách a nízkých cenách. Přidáním Co se dosáhne u těchto materiálů extrémně vysokých hodnot indukce nasycení  $B_s$  až 1,8 T (při maximální permeabilitě  $\mu_{max} = 400\ 000$ ). Magnetické obvody z této slitiny se používají ke konstrukci elektrických strojů, kde se požaduje snížená hmotnost při vysokých hodnotách magnetických parametrů (pro tlumivky, výkonové impulsní a proudové transformátory, magnetické zesilovače apod.). Slitiny na bázi Fe vykazují velmi nízké magnetizační ztráty i při kmitočtech kolem nebo nad 1MHz, přitom jejich indukce nasycení  $B_s$  a permeabilita  $\mu$  je značně větší než u feritů. Cenově slitiny na bázi Fe patří k nejlevnějším amorfnním materiálům. [7]


### 5.5.2. Amorfnní slitiny na bázi FeNi

Magnetické obvody vyrobené z této slitiny mají střední hodnotu indukce nasycení  $B_s$  v rozmezí 0,8 až 1T a velmi vysokou permeabilitu ( $\mu_{max} \approx 8.105$ ). Počáteční permeabilita  $\mu$  se pohybuje v rozmezí od 5000 do 20000. Používají se ke konstrukci elektrických strojů, u kterých je požadována vysoká permeabilita. [7]

### 5.5.3. Amorfnní slitiny na bázi Co

Magnetické obvody vyrobené z této slitiny mají velmi vysokou počáteční i maximální permeabilitu ( $\mu_i \geq 300\ 000$   $\mu_{max} \geq 106$ ), ve srovnání s magnetickými obvody, jenž jsou vyrobené z amorfnních slitin na bázi Fe poněkud nižší hodnotu indukce nasycení  $B_s$  ( $B_s \approx 0,5$  až 0,8T), vysokou teplotní stabilitu, vysokou necitlivostí na mechanické namáhání a poměrně vysokou odolností proti korozi. Vzhledem ke svým vynikajícím magnetickým vlastnostem mají magnetické obvody vyrobené z této slitiny široké použití pro stavbu výkonové elektroniky, vysokofrekvenční techniky v měřicí a odrušovací technice. Nahrazují ferity, především ve vysokofrekvenčních a impulsních transformátorech, magnetických zesilovačích a velmi citlivých proudových transformátorech.

Zejména jsou vhodné v odrušovací technice pro stínění, tlumivky, omezovače přepětí, transformátory se zvýšeným útlumem (např. síťové, výstupní pro výkonové tranzistorové napájecí zdroje) apod. V porovnání se slitinami na bázi Fe jsou dražší. [7]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5.6. Výrobci distribučních transformátorů a magnetických obvodů

Pro své unikátní elektromagnetické vlastnosti se výzkumem nanotechnologií zabývá hned několik gigantických společností na světě. Mezi nejznámější výrobce transformátorů s magnetickým obvodem z amorfního kovu patří:

**SIMENS** Siemens dodává provedení na míru, splňující veškeré požadavky na výkon, napětí, ztráty, způsob provozu, hlučnost, připojovací techniku, způsob chlazení, transport a instalaci. Vzhledem k požadavkům podle místa použití mohou být v provedení jako plné nebo úsporné transformátory, ve třífázové nebo jednofázové verzi, pro výkony od 2 MVA do více než 1000 MVA a napětí do 1500 kV.

**HITACHI** Firma Hitachi nabízí širokou škálu energetických zařízení. Kombinace moderní technologie a dlouholeté zkušenosti výroby transformátorů je zárukou nejvyšší úrovně kvality a výkonu v celém světě. Uplatněním amorfního materiálu k transformátoru jádra pomocí moderních technologií, je možné dosáhnout vysoké účinnosti a úspor energie, které budou i nadále růst v průběhu let. Amorfní jádro je vyrobeno z recyklovatelného materiálu, což dále snižuje dlouhodobý dopad na naše životní prostředí.

**BEZ TRANSFORMÁTORY a.s.** BEZ jsou schopni navrhnout a vyrobit atypický transformátor ve vyhotovení dle požadavků zákazníka. Např. transformátory pro usměrňovače, pecové transformátory, transformátory s chlazením atd. Tyto transformátory mají průměrnou životnost 25-30 let.

**THERMA FM, s.r.o.:** český výrobce magnetických obvodů pro konstrukci magnetických obvodů menších výkonů.

## 5.7. Porovnání parametrů

Z následujících porovnávacích tabulek je vidět rozdíl ve ztrátách naprázdno, jak již bylo řečeno, transformátory s magnetickým obvodem z amorfních plechů jsou pouze třetinové. Při větších výkonech jsou ještě menší. Také napětí nakrátko je o poznání menší. Avšak hmotnostní poměry jsou amorfních transformátorů mnohem horší.

### 5.7.1. Porovnání technických parametrů třífázových distribučních transformátorů s měděným vinutím o výkonu 250kVA/22kV



Obr. 4 Distribuční transformátor 250kVA/22kV [8]

#### Jádro z amorfního plechu

Jmenovitý výkon	kVA	250
Typ	TOHn	330/22.1
Jmenovité vyšší napětí	V	22 000
Jmenovité nižší napětí	V	420/242
Frekvence	Hz	50
Skupina spojení		Dyn5
Ztráty naprázdno Po	W	120
Ztráty nakrátko Pk	W	2750
Napětí nakrátko Uk 75°C	%	4
Izolační třída		A
Materiál vinutí VN/NN		Cu

#### Jádro z elektrotechnického plechu (Si)

Jmenovitý výkon	kVA	250
Typ	DOT	250H/20
Jmenovité vyšší napětí	V	22 000
Jmenovité nižší napětí	V	420
Frekvence	Hz	50
Skupina spojení		Dyn1
Ztráty naprázdno Po	W	445
Ztráty nakrátko Pk	W	3250
Napětí nakrátko Uk 75°C	%	4
Izolační třída		A
Materiál vinutí VN/NN		Cu

#### Rozměry

Délka	mm	1345
Šířka	mm	885
Výška	mm	1290
Hmotnost	kg	1450

#### Rozměry

Délka	mm	1060
Šířka	mm	720
Výška	mm	1500
Hmotnost	kg	1130

#### Tolerance

Ztráty naprázdno Po	Po + 0%
Ztráty nakrátko Pk	Pk + 0%
Celkové ztráty	Po + Pk + 0%
Napětí nakrátko	Uk ± 10%

#### Tolerance

Ztráty naprázdno Po	
Ztráty nakrátko Pk	
Celkové ztráty	
Napětí nakrátko	Uk ± 10%

Tab. 1 Srovnání parametrů transformátorů z elektrotechnického a amorfního plechu o výkonu 250kVA

### 5.7.2. Porovnání technických parametrů třífázových distribučních transformátorů s měděným vinutím o výkonu 1000kVA/10kV



Obr. 5 Distribuční transformátor 1000kVA/10kV [8]

#### Jádro z amorfního plechu

Jmenovitý výkon	kVA	1000
Typ	TE	790/10.1
Jmenovité vyšší napětí	V	10 000
Jmenovité nižší napětí	V	400/231
Frekvence	Hz	50
Skupina spojení		Dyn5
Ztráty naprázdno Po	W	650
Ztráty nakrátko Pk	W	10 000
Napětí nakrátko Uk 75°C	%	6
Izolační třída		F
Materiál vinutí VN/NN		Cu

#### Rozměry

Délka	mm	1470
Šířka	mm	970
Výška	mm	1485
Hmotnost	kg	3510

#### Tolerance

Ztráty naprázdno Po	Po + 15%
Ztráty nakrátko Pk	Pk + 15%
Celkové ztráty	Po +Pk + 10%
Napětí nakrátko	Uk ± 10%

#### Jádro z elektrotechnického plechu (Si)

Jmenovitý výkon	kVA	1000
Typ	TE	795/10
Jmenovité vyšší napětí	V	10 000
Jmenovité nižší napětí	V	400/231
Frekvence	Hz	50
Skupina spojení		Dyn1
Ztráty naprázdno Po	W	2800
Ztráty nakrátko Pk	W	14 100
Napětí nakrátko Uk 75°C	%	6
Izolační třída		F
Materiál vinutí VN/NN		Cu

#### Rozměry

Délka	mm	1610
Šířka	mm	970
Výška	mm	1475
Hmotnost	kg	2700

#### Tolerance

Ztráty naprázdno Po	Po + 15%
Ztráty nakrátko Pk	Pk + 15%
Celkové ztráty	Po +Pk + 10%
Napětí nakrátko	Uk ± 10%

Tab. 2 Srovnání parametrů transformátorů z elektrotechnického a amorfního plechu o výkonu 1000kVA

## 6. Měřená transformátorová jádra


Zkušební vzorky (jádra) byly zakoupeny od společnosti THERMA FM, s.r.o. Pro měření bylo nutno zajistit navinutí vstupního a výstupního vinutí o stejných hodnotách odporu. Součástí zakoupených vzorků byl měřicí protokol se základními elektromagnetickými vlastnostmi materiálů. Měřené transformátory byly předloženy jako slepé vzorky.

Měřicí protokol							
THERMA FM s.r.o.				Číslo protokolu_typ: Vzorky			
Typ jádra: 62x56x30				Číslo ložního listu:			
Jakost:				Číslo zakázky:			
Počet ks: 2				Číslo objednávky:			
Odběratel: Ing. Pavel Vít BRNO				Číslo výroby_příkazu:			
				Měřil:		4.12.2009	
Naměřené hodnoty při frekvenci 50 Hz							
P.č.	H ef [A/m]	H max [A/m]	B max [T]	Ztráty [W]	Spec. zt. [W/kg]	Příkon [VA]	Perm.
1	30,000	52,156	1,605	0,130	1,047	0,203	24494
1	3,000	4,428	0,159	0,001	0,009	0,002	28621
1	44,500	81,203	1,700	0,164	1,323	0,345	16660
1	22,156	33,997	1,500	0,102	0,820	0,131	35119
1	12,504	17,271	1,000	0,040	0,326	0,046	46092
1	10,412	14,459	0,800	0,026	0,208	0,030	44029
2	30,000	49,741	1,037	0,007	0,058	0,158	16593
2	3,000	5,691	0,781	0,003	0,028	0,009	109740
2	8,415	17,826	1,000	0,005	0,041	0,031	44767
2	2,629	4,814	0,800	0,003	0,028	0,007	133075

Jádro č. 1. Fe-Si materiál síla 0,30 u jakost H4.

Jádro č. 2. Namagnetický materiál na bázi Fe. (síla přísl. 20 μm)  
Pozor - jádro je zpenzené v keramice.

Tab. 3 Měřicí protokol se základními elektromagnetickými vlastnostmi [14]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 6.1. Konstrukce toroidních vzorků

Pro potřeby práce bylo u firmy THERMA FM, s.r.o. dohodnuto dodání dvou toroidních jader, přičemž jedno mělo být vyrobeno z amorfni slitiny na fázi železa a druhé mělo být vyrobeno z transformátorových plechů z křemíkaté oceli v kvalitě, ve které se dnes běžně používají pro výrobu distribučních transformátorů.

Pro oba vzorky byly požadovány následující parametry:

- stejné rozměry aktivního materiálu
- nominální výkon alespoň 20VA, ne však větší než 50VA

### 6.1.1. Parametry elektrotechnického plechu toroidního jádra

Toroidní jádro svinuté z jednoho pásu tvořeného elektrotechnickým plechem s rozměry:

-vnitřní průměr	62mm
-vnější průměr	56mm
-výška stěny	30mm

*Podle údajů výrobce [10] by se mělo jednat o plech v jakosti M4 (mělo by podle EN odpovídat jakosti M089-27N), přičemž by mělo jít o za studena válcované orientované (anisotropní) plechy.*

*Dodaný toroid pravděpodobně neodpovídá požadovanému výkonu mezi 20 a 50VA. Podle průřezu jádra by spíše odpovídal nominálnímu výkonu zhruba 7VA.*

*Jádro vykazovalo jisté známky koroze (rez), ale vzhledem k malému rozsahu tohoto jevu by to na parametry vzorku nemělo mít vliv. [11]*



Obr. 6 Toroidní jádro z elektrotechnického plechu [11]

### 6.1.2. Parametry nanokrystalického toroidního jádra

Přes to, že objednávka byla vystavena na jádro vyrobené z amorfního materiálu, bylo dodáno jádro z nanokrystalické slitiny.

*Toroidní jádro tvořené nanokrystalickým materiálem svinuté z pásku s rozměry:*

-vnitřní průměr	62mm
-vnější průměr	56mm
-výška stěny	30mm

*Protože toto jádro není samonosné (nanokrystalická páska bývá obvykle tlustá 0,02 až 0,05mm a 10 až 50mm široká [13]), bylo uzavřeno v kontejneru z materiálu na bázi celulózy (zřejmě tvrzený papír). Aby nedošlo k poškození magnetického materiálu uvnitř, nebyl kontejner rozebírán.*

*Vnější rozměry kontejneru:*


-vnitřní průměr	51mm
-vnější průměr	70mm
-výška stěny	35mm

*Již na první pohled bylo zřejmé, že se nejedná o vlastní výrobek firmy THERMA FM, s.r.o., neboť na kontejneru byla značka polské firmy KBR Magneto Sp.J., která je také výrobcem nanokrystalických a amorfních materiálů.*

*Materiál, ani jmenovitý výkon tohoto toroidního jádra nebyl nijak blíže specifikován a vzhledem k tomu, že nebylo s čím porovnávat, nemohl být ani odhadnut. [11]*



Obr. 7 Toroidní jádro z nanokrystalického materiálu [11]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 6.2. Určení parametrů vinutí a navinutí

Jádra byla použita k výrobě transformátorů, přičemž parametry vynutí, vycházely ze dvou základních požadavků:

- transformátor měl být vinut s převodem 1 (obvyklé u oddělovacích transformátorů)
- odpor vinutí musel být alespoň  $4\Omega$  (nutné kvůli předpokládanému napájení ze zesilovače během budoucích měření)

Vzhledem k tomu, že vinutí se mělo navíjet ručně, byl hledán kompromis mezi průměrem použitého drátu (čím větší průměr, tím menší měrný elektrický odpor na závit) a počtem potřebných navinutých závitů. Po zjištění měrných elektrických odporů různých vodičů byl za přijatelný vybrán smaltovaný drát o průměru 0,355mm, pro který bylo nutné navinout 216 závitů pro dosažení požadovaného odporu  $4\Omega$ .

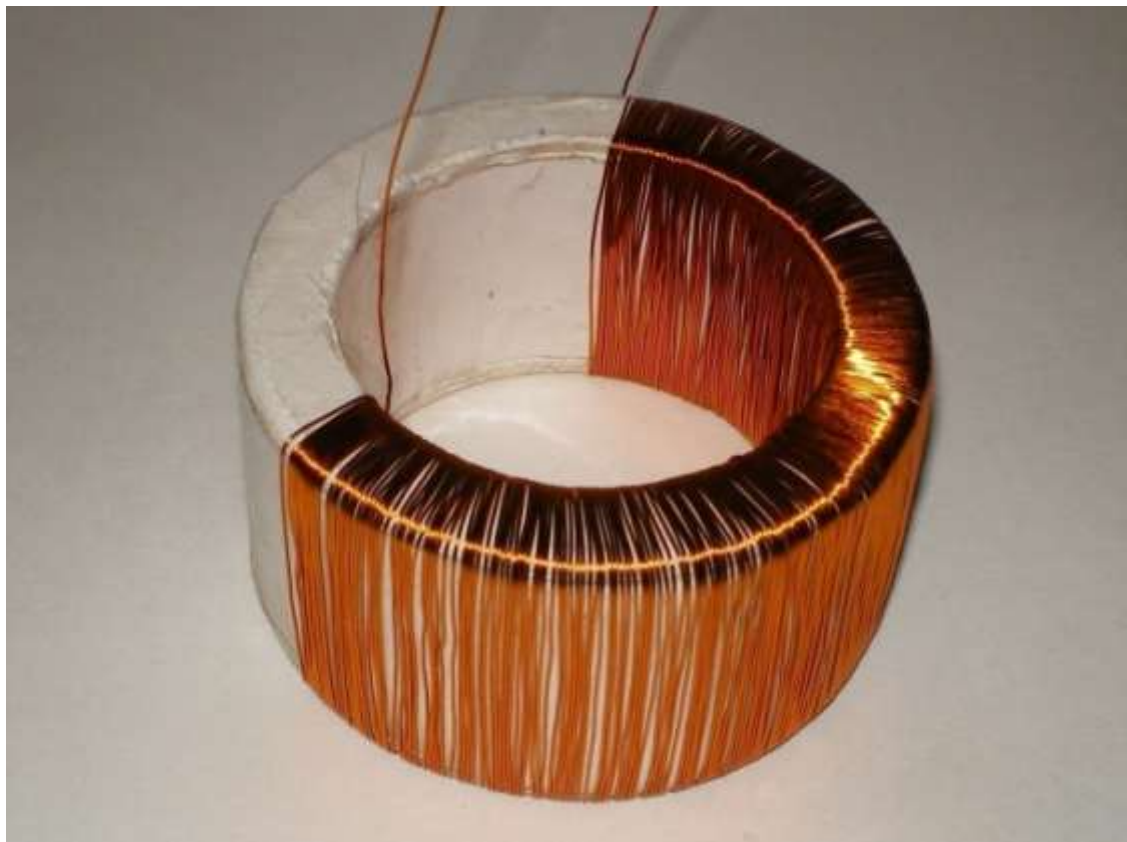
Díky shodným rozměrům vycházeli na obou jádrech počty závitů, a tedy i délky vinutí, shodné. [11]

## 6.3. Průběh přípravy transformátorových jader

Jak je popsáno v kap. 6.2. Byl zvolen ruční způsob navinutí a to sebou neslo jistá úskalí. Jedním z nich bylo navinutí závitů, aby jednotlivé závity ležely těsně vedle sebe. Další komplikace pak vznikaly při napnutí každého závitu. Jak bylo později vidět, závity se rozkmitaly, což bylo dobře pozorovatelné při vyšších frekvencích. Tento děj byl nechtěným zdrojem rušení.



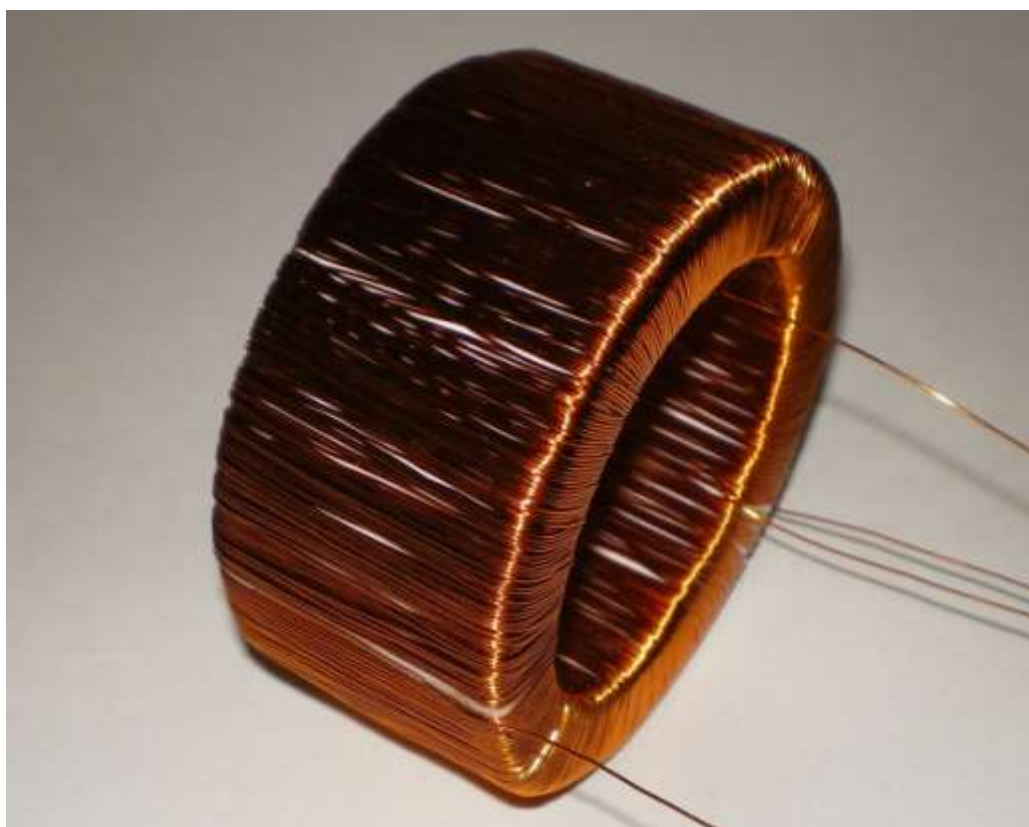
Obr. 8 Toroidní vzorek z elektrotechnického plechu s obojím vinutím A [11]



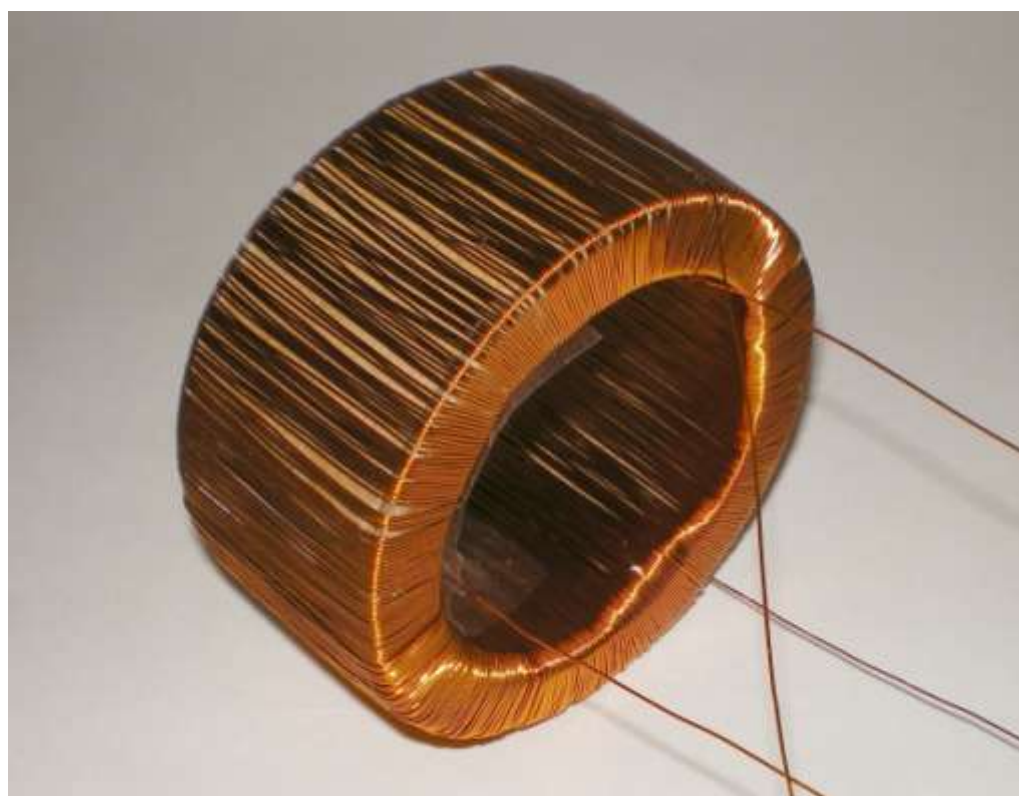
Obr. 9 Toroidní vzorek z elektrotechnického plechu s obojím vinutím B [11]



Obr. 10 Toroidní vzorek z elektrotechnického plechu s obojím vinutím C [11]



Obr. 11 Toroidní vzorek z elektrotechnického plechu s obojím vinutím D [11]



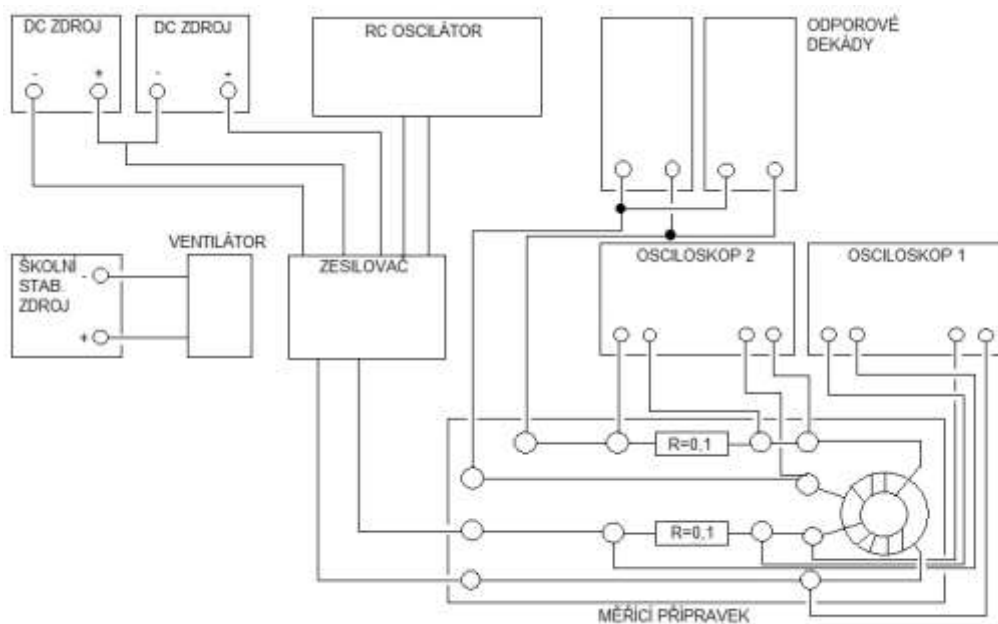
Obr. 12 Toroidní vzorek z nanokryystalu s obojím vinutím [11]

## 7. Měřící soustava


Pro sestavení funkčního pracoviště, schopného měřit vstupní a výstupní proudy a napětí, byly zajištěny následující zařízení:



Obr. 13 Měřící soustava



Obr. 14 Blokové schéma měřící soustavy

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### AC LABORATORNÍ ZDROJ

Výrobce: DIAMETRAL  
 Typ (model): AC 250 K2DS  
 Výrobní číslo: 752

Použití: tento zdroj byl do měřicího obvodu zařazen z důvodu oddělení oscilátoru, měřicího vstupní proudy a napětí, aby se předešlo zkratu.

### DC – LABORATORNÍ ZDROJ

Výrobce: DIAMETRAL  
 Typ (model): P 130 R51D  
 Výrobní číslo: 1121  
 Výrobní číslo: 1130

Použití: zdroje stejnosměrného napětí k napájení zesilovače.

### ŠKOLNÍ STABILIZOVANÝ ZDROJ

Výrobce: TESLA  
 Typ (model): BK 126  
 Výrobní číslo: 717471

Použití: tento zdroj sloužil pouze k napájení chladícího ventilátoru.

### RC OSCILÁTOR


Výrobce: TESLA  
 Typ (model): BM 365  
 Výrobní číslo: 420587

Použití: oscilátor v daném obvodu sloužil jako zdroj střídavého signálu s regulací napětí a frekvence.

### DIGITAL STORAGE – OSCILOSKOP

Výrobce: GW INSTEK  
 Typ (model): GDS – 820C  
 Výrobní číslo (vstup): EF 110893  
 Výrobní číslo (výstup): EF 110755

Použití: slouží jako zobrazovací zařízení napětí a proudů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### ODPOROVÁ DEKÁDA

Výrobce: METRA  
 Typ (model): L 110  
 Výrobní číslo: 132112  
 Výrobní číslo: 132125

Použití: nastavením patřičné hodnoty odporu jsme zajistili požadované zatížení.

### CHLADÍCÍ VENTILÁTOR

Výrobce: ARCTIC - COOLING  
 Typ (model): AF 12025

Použití: v tomto případě sloužil jako chladicí zařízení zesilovače signálu.


### MĚŘÍCÍ PŘÍPRAVEK

Použití: díky přípravku, ve kterém je zapojený přídatný odpor o hodnotě  $0,1\Omega$  jsme schopni na osciloskopu odečítat hodnoty proudu.

### ZESILOVAČ

Typ (stavebnice): přípravek s integrovaným zesilovačem TDA 2050

Použití: zesílení signálu vstupního napětí.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 8. Postup jednotlivých měření


Pro vyhodnocení materiálových vlastností, byl stanoven přesný postup, pro získání potřebných parametrů a následného vyhodnocení obou materiálů. Jako první bylo provedeno měření naprázdno, kde jsou očekávány třetinové ztráty při takovémto zapojení. Tento rozdíl je popsán v nabídce distribučních transformátorů u většiny výrobců. Ztráty naprázdno jsou ztráty v magnetickém transformátorovém obvodu. Tyto ztráty se přidělují dvěma složkám. Jednak můžeme mluvit o ztrátách magnetizačních, ke kterým dochází při přemagnetování směru toku magnetického pole v magnetickém obvodu a ztrátách vířivými proudy, které mají kolmý směr na směr magnetického toku. Abychom předešli těmto nechtěným jevům, hlavně přehřívání, je snaha dosáhnout minimálních od sebe izolovaných vrstev. Výsledkem měření ztrát naprázdno tedy bude grafické zobrazení zdánlivých výkonů na frekvenci.

Všechny odečtené hodnoty jsou zaznamenány do tabulky, ze které se vypočítají další potřebné parametry. Z těchto parametrů na závěr určíme, jaký rozdíl tvoří využití materiálu běžně používaného pro jádra transformátorů a jaký užitek přinese nová technologie zpracování materiálu při použití plechů z nanokrystalické slitiny. Součástí odečtených hodnot bude jako příloha částečná fotodokumentace, která zachycuje zaznamenanou hodnotu.

Následující měření bylo se zátěží. Původně bylo stanoveno, že oba vzorky budou měřeny při jmenovitém a polovičním zatížení. Jelikož přílohou nebyly žádné informace o výkonu dodaných jader, byli jsme nuceni jejich výkon určit pomocnou metodou, která spočívá v porovnávání průřezu jader. K tomuto porovnání došlo na základě deformované charakteristiky proudů, která vykazovala znaky přebuzeného jádra.

Namísto dohodnutých transformátorových jader o výkonu 20VA byly, dodány transformátorová jádra s výkonem pravděpodobně 7VA. Tato skutečnost byla zjištěna až po naměření první charakteristiky, kdy se ukázalo, že jde o charakteristiku pro zatížení 200%. Z naměřených špičkových hodnot je pro nás důležité přepočtem zjistit efektivní hodnoty vstupních a výstupních proudů a napětí. Dále z těchto efektivních hodnot jsou určeny zdánlivé jmenovité výkony transformátorů. Zdánlivé výkony pro nás nemají žádný zajímavý fyzikální význam, avšak drtivá většina elektronických součástí využívá vlastností, které jsou závislé na hodnotách proudu a napětí. Tzn., že ze zdánlivého výkonu je možno předběžně určit rozměry elektronických prvků, možností jejich využití. Pro určení činného výkonu bylo nutno z časového posunu mezi signály napětí a proudu odečíst úhel  $\cos\phi$ . Další zpracování výpočtu vede k výsledným parametrům účinnosti transformátorů, které jsou opět graficky zpracovány v závislosti na frekvenci.

V průběhu měření byly ze zobrazovacích osciloskopů odečítány špičkové hodnoty proudů a napětí, jak na vstupu, tak i na výstupu. I přes použité odstíněné vodiče se při měření dostavily nežádoucí zdroje rušení, které provázely téměř celé měření. Protože jsme nebyli schopni zjistit původ těchto jevů, bylo nutno vždy vydržet, až se průběhy ustálí. Ze zaznamenaných špičkových hodnot byl vypočítán poměr ztrát, který je určen poměrem napětí na primární a sekundární cívce. „k“ je převod transformátoru, kde je prokazatelná závislost mezi proudem, napětím a počtem

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

závitů. Tato závislost je prokazatelná pouze v případě ideálního transformátoru, který pracuje beze ztrát. Reálné transformátory pracují se ztrátami, ale i přes to bývá jejich účinnost větší než 90%. Tím se řadí transformátory mezi nejdokonalejší stroje.

Jak již bylo uvedeno, špičkové hodnoty byly přepočteny na hodnoty efektivní, ze kterých byl určen jmenovitý zdánlivý výkon  $S$  (VA). Celkové ztráty  $P_{\Delta}$  (W) a účinnost  $\mu$  (%) vycházejí z časového posunu signálu napětí a proudů. Jejich následné grafické zpracování bude vyhodnoceno v závěru měření.

### 8.1. Použité výpočetní vzorce

Celkové ztráty  $P_{\Delta} = P_1 - P_2$  [W]

Účinnost  $\mu = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$  [%]

Činný výkon  $P_1 = \cos\varphi \cdot U_1 \cdot I_1$  [W]  
 $P_2 = \cos\varphi \cdot U_2 \cdot I_2$  [W]

Zdánlivý výkon  $S = U_E \cdot I_E$  [VA]

Efektivní hodnoty  $U_E = \frac{U}{\sqrt{2}}$  [V]  
 napětí a proudu  $I_E = \frac{I}{\sqrt{2}}$  [A]

### 8.2. Hodnoty transformátorů naprázdno

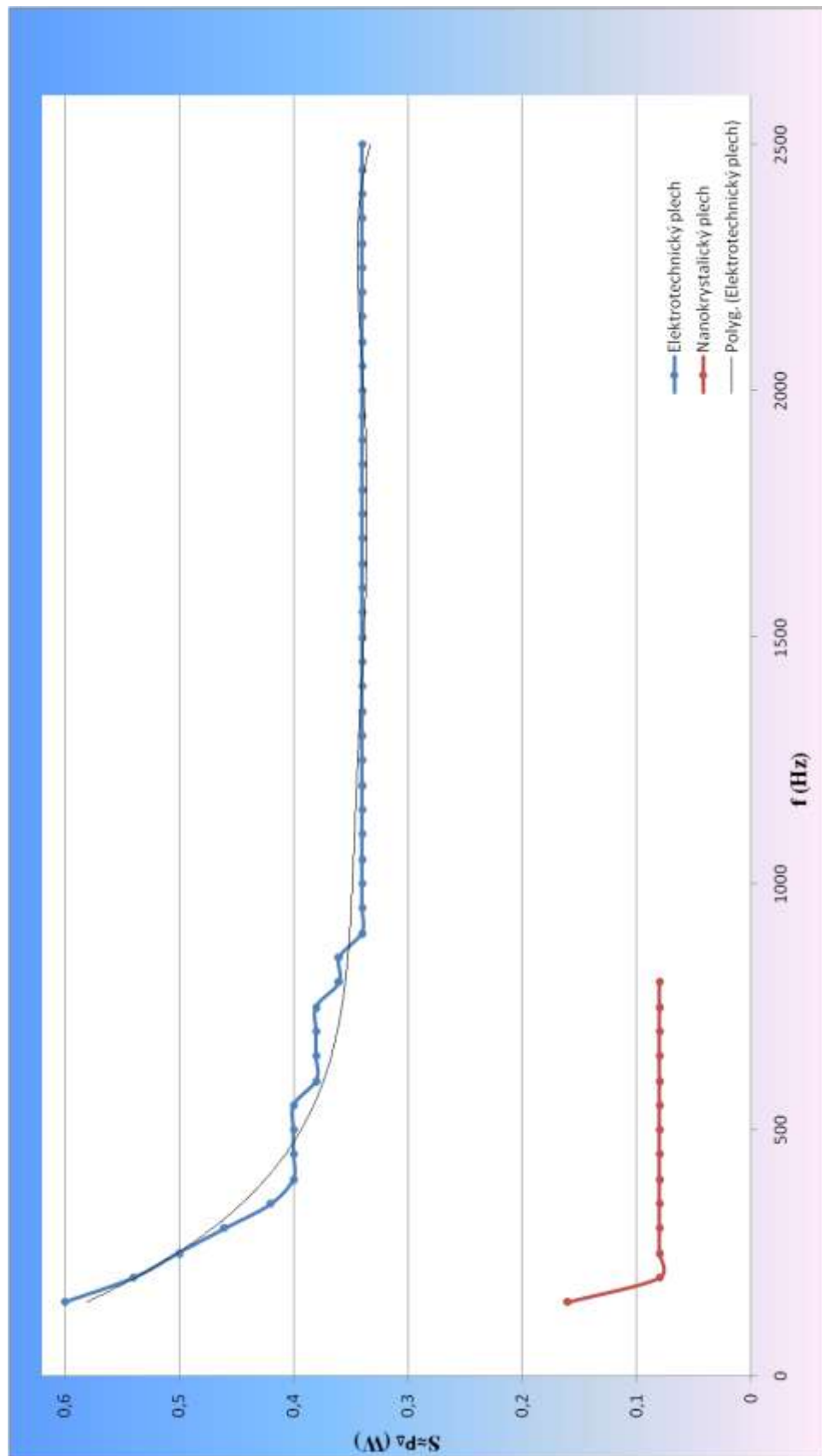
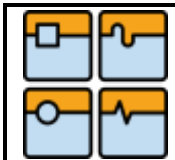
Chod transformátor naprázdno označujeme tehdy, pokud sekundární cívka není zatížena žádným spotřebičem. V tomto případě sledujeme, jak se chovají průběhy napětí a proudu při zvyšující se frekvenci. Pro měření naprázdno je hodnota výstupního proudu vždy nulová.



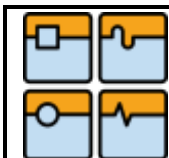
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Naprázdno - elektrotechnický plech						Naprázdno - nanokrystalický plech				
f (Hz)	U <sub>1</sub> (V)	I <sub>1</sub> (mA)	S (W)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (mA)	U <sub>1</sub> (V)	I <sub>1</sub> (mA)	S (W)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (mA)
50	20	3000	60	18,2	0	20	4100	82	17,8	0
100	20	40	0,8	19,6	0	20	2500	50	19,6	0
150	20	30	0,6	19,8	0	20	8	0,16	20	0
200	20	27	0,54	19,9	0	20	4	0,08	20	0
250	20	25	0,5	20	0	20	4	0,08	20	0
300	20	23	0,46	20	0	20	4	0,08	20	0
350	20	21	0,42	20	0	20	4	0,08	20	0
400	20	20	0,4	20	0	20	4	0,08	20	0
450	20	20	0,4	20	0	20	4	0,08	20	0
500	20	20	0,4	20	0	20	4	0,08	20	0
550	20	20	0,4	20	0	20	4	0,08	20	0
600	20	19	0,38	20	0	20	4	0,08	20	0
650	20	19	0,38	20	0	20	4	0,08	20	0
700	20	19	0,38	20	0	20	4	0,08	20	0
750	20	19	0,38	20	0	20	4	0,08	20	0
800	20	18	0,36	20	0	20	4	0,08	20	0
850	20	18	0,36	20	0					
900	20	17	0,34	20	0		maly rozsah osciloskopu nelze odečíst			
950	20	17	0,34	20	0					
1000	20	17	0,34	20	0					
1050	20	17	0,34	20	0					
1100	20	17	0,34	20	0					
1150	20	17	0,34	20	0					
1200	20	17	0,34	20	0					
1250	20	17	0,34	20	0					
1300	20	17	0,34	20	0					
1350	20	17	0,34	20	0					
1400	20	17	0,34	20	0					
1450	20	17	0,34	20	0					
1500	20	17	0,34	20	0					
1550	20	17	0,34	20	0					
1600	20	17	0,34	20	0					
1650	20	17	0,34	20	0					
1700	20	17	0,34	20	0					
1750	20	17	0,34	20	0					
1800	20	17	0,34	20	0					
1850	20	17	0,34	20	0					
1900	20	17	0,34	20	0					
1950	20	17	0,34	20	0					
2000	20	17	0,34	20	0					
2050	20	17	0,34	20	0					
2100	20	17	0,34	20	0					
2150	20	17	0,34	20	0					
2200	20	17	0,34	20	0					
2250	20	17	0,34	20	0					
2300	20	17	0,34	20	0					
2350	20	17	0,34	20	0					
2400	20	17	0,34	20	0					
2450	20	17	0,34	20	0					
2500	20	17	0,34	20	0					

Tab. 4 Hodnoty transformátorů naprázdno



Graf 1 Celkové ztráty pro měření naprázdno



### 8.3. Hodnoty transformátoru při jmenovitém zatížení

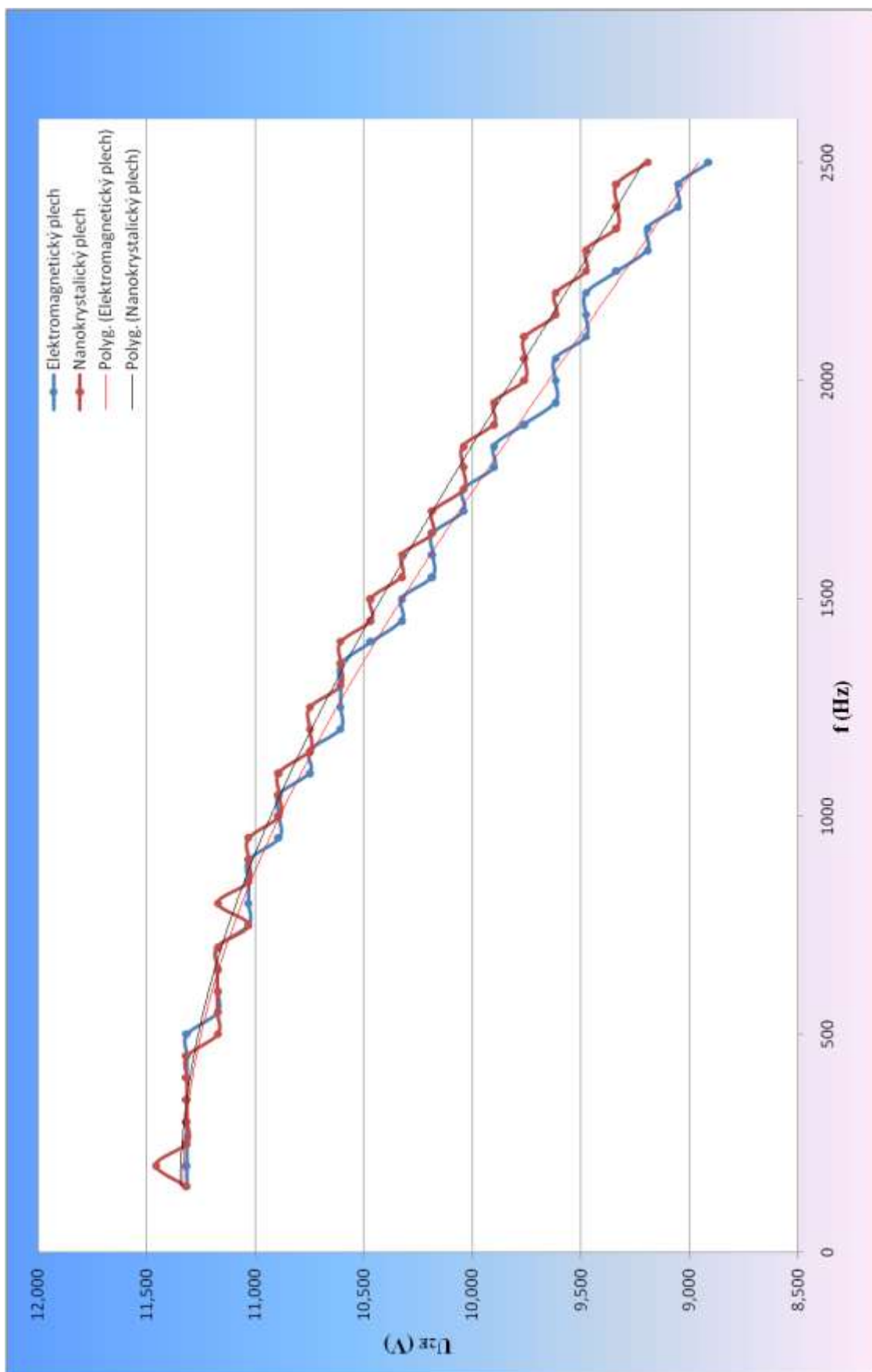
Na výstupní straně byly zatěžovány oba jednofázové transformátory odporovou zátěží o velikosti 10Ω. Při zvyšující se frekvenci byly zaznamenávány špičkové hodnoty proudů a napětí, ze kterých byly určeny poměrné ztráty. Dále byl proveden přepočít hodnot špičkových na efektivní a ty byly přepočteny na výkon. Následné grafické zpracování.

Špičkové hodnoty										Poměr ztrát $k_u; k_i$			
Jmenovité zatížení - elektrotechnický plech					Jmenovité zatížení - nanokrystalický plech					Elektrotechnický plech		Nanokrystalický plech	
f (Hz)	$U_1$ (V)	$I_1$ (mA)	$U_2$ (V)	$I_2$ (mA)	$U_1$ (V)	$I_1$ (mA)	$U_2$ (V)	$I_2$ (mA)	f (Hz)	$k_u$ (-)	$k_i$ (-)	$k_u$ (-)	$k_i$ (-)
50	20	2880	15,2	440	20	4560	14,2	416	50	0,76	6,55	0,71	10,96
100	20	480	16,2	472	20	1960	15,8	448	100	0,81	1,02	0,79	4,38
150	20	472	16,0	464	20	448	16,0	456	150	0,80	1,02	0,80	0,98
200	20	480	16,0	464	20	456	16,2	464	200	0,80	1,03	0,81	0,98
250	20	480	16,0	464	20	456	16,0	472	250	0,80	1,03	0,80	0,97
300	20	472	16,0	464	20	448	16,0	464	300	0,80	1,02	0,80	0,97
350	20	472	16,0	464	20	456	16,0	464	350	0,80	1,02	0,80	0,98
400	20	464	16,0	456	20	448	16,0	472	400	0,80	1,02	0,80	0,95
450	20	472	16,0	464	20	448	16,0	464	450	0,80	1,02	0,80	0,97
500	20	472	16,0	464	20	448	15,8	456	500	0,80	1,02	0,79	0,98
550	20	464	15,8	456	20	448	15,8	456	550	0,79	1,02	0,79	0,98
600	20	464	15,8	456	20	448	15,8	464	600	0,79	1,02	0,79	0,97
650	20	464	15,8	456	20	448	15,8	456	650	0,79	1,02	0,79	0,98
700	20	464	15,8	456	20	440	15,8	456	700	0,79	1,02	0,79	0,96
750	20	464	15,6	456	20	440	15,6	456	750	0,78	1,02	0,78	0,96
800	20	456	15,6	456	20	440	15,8	456	800	0,78	1,00	0,79	0,96
850	20	456	15,6	448	20	440	15,6	456	850	0,78	1,02	0,78	0,96
900	20	456	15,6	456	20	432	15,6	456	900	0,78	1,00	0,78	0,95
950	20	456	15,4	448	20	432	15,6	456	950	0,77	1,02	0,78	0,95
1000	20	448	15,4	448	20	432	15,4	448	1000	0,77	1,00	0,77	0,96
1050	20	448	15,4	448	20	432	15,4	448	1050	0,77	1,00	0,77	0,96
1100	20	448	15,2	448	20	424	15,4	448	1100	0,76	1,00	0,77	0,95
1150	20	448	15,2	448	20	424	15,2	448	1150	0,76	1,00	0,76	0,95
1200	20	440	15,0	448	20	424	15,2	448	1200	0,75	0,98	0,76	0,95
1250	20	440	15,0	440	20	424	15,2	440	1250	0,75	1,00	0,76	0,96
1300	20	440	15,0	440	20	424	15,0	440	1300	0,75	1,00	0,75	0,96
1350	20	440	15,0	440	20	416	15,0	440	1350	0,75	1,00	0,75	0,95
1400	20	432	14,8	432	20	416	15,0	440	1400	0,74	1,00	0,75	0,95
1450	20	432	14,6	432	20	416	14,8	432	1450	0,73	1,00	0,74	0,96
1500	20	424	14,6	424	20	416	14,8	432	1500	0,73	1,00	0,74	0,96
1550	20	424	14,4	424	20	408	14,6	432	1550	0,72	1,00	0,73	0,94
1600	20	416	14,4	424	20	408	14,6	432	1600	0,72	0,98	0,73	0,94
1650	20	416	14,4	424	20	408	14,4	424	1650	0,72	0,98	0,72	0,96
1700	20	416	14,2	416	20	400	14,4	424	1700	0,71	1,00	0,72	0,94
1750	20	408	14,2	416	20	400	14,2	424	1750	0,71	0,98	0,71	0,94
1800	20	408	14,0	416	20	392	14,2	416	1800	0,70	0,98	0,71	0,94
1850	20	408	14,0	408	20	392	14,2	416	1850	0,70	1,00	0,71	0,94
1900	20	408	13,8	408	20	392	14,0	416	1900	0,69	1,00	0,70	0,94
1950	20	400	13,6	408	20	392	14,0	408	1950	0,68	0,98	0,70	0,96
2000	20	400	13,6	400	20	384	13,8	408	2000	0,68	1,00	0,69	0,94
2050	20	392	13,6	400	20	384	13,8	408	2050	0,68	0,98	0,69	0,94
2100	20	392	13,4	400	20	384	13,8	408	2100	0,67	0,98	0,69	0,94
2150	20	384	13,4	392	20	384	13,6	400	2150	0,67	0,98	0,68	0,96
2200	20	384	13,4	392	20	376	13,6	400	2200	0,67	0,98	0,68	0,94
2250	20	384	13,2	384	20	376	13,4	400	2250	0,66	1,00	0,67	0,94
2300	20	376	13,0	384	20	368	13,4	392	2300	0,65	0,98	0,67	0,94
2350	20	376	13,0	384	20	368	13,2	392	2350	0,65	0,98	0,66	0,94
2400	20	368	12,8	384	20	368	13,2	392	2400	0,64	0,96	0,66	0,94
2450	20	368	12,8	376	20	368	13,2	384	2450	0,64	0,98	0,66	0,96
2500	20	368	12,6	376	20	368	13,0	384	2500	0,63	0,98	0,65	0,96

Tab. 5 Špičkové hodnoty transformátorů při jmenovitém zatížení

<b>Efektivní hodnoty</b>								
Jmenovité zatížení - elektrotechnický plech					Jmenovité zatížení - nanokrystalický plech			
<b>f (Hz)</b>	<b>U<sub>IE</sub> (V)</b>	<b>I<sub>IE</sub> (mA)</b>	<b>U<sub>2E</sub> (V)</b>	<b>I<sub>LE</sub> (mA)</b>	<b>U<sub>IE</sub> (V)</b>	<b>I<sub>IE</sub> (mA)</b>	<b>U<sub>2E</sub> (V)</b>	<b>I<sub>LE</sub> (mA)</b>
<b>50</b>	14,142	2036,468	10,748	311,127	14,142	3224,407	10,041	294,156
<b>100</b>	14,142	339,411	11,455	333,754	14,142	1385,929	11,172	316,784
<b>150</b>	14,142	333,754	11,314	328,098	14,142	316,784	11,314	322,441
<b>200</b>	14,142	339,411	11,314	328,098	14,142	322,441	11,455	328,098
<b>250</b>	14,142	339,411	11,314	328,098	14,142	322,441	11,314	333,754
<b>300</b>	14,142	333,754	11,314	328,098	14,142	316,784	11,314	328,098
<b>350</b>	14,142	333,754	11,314	328,098	14,142	322,441	11,314	328,098
<b>400</b>	14,142	328,098	11,314	322,441	14,142	316,784	11,314	333,754
<b>450</b>	14,142	333,754	11,314	328,098	14,142	316,784	11,314	328,098
<b>500</b>	14,142	333,754	11,314	328,098	14,142	316,784	11,172	322,441
<b>550</b>	14,142	328,098	11,172	322,441	14,142	316,784	11,172	322,441
<b>600</b>	14,142	328,098	11,172	322,441	14,142	316,784	11,172	328,098
<b>650</b>	14,142	328,098	11,172	322,441	14,142	316,784	11,172	322,441
<b>700</b>	14,142	328,098	11,172	322,441	14,142	311,127	11,172	322,441
<b>750</b>	14,142	328,098	11,031	322,441	14,142	311,127	11,031	322,441
<b>800</b>	14,142	322,441	11,031	322,441	14,142	311,127	11,172	322,441
<b>850</b>	14,142	322,441	11,031	316,784	14,142	311,127	11,031	322,441
<b>900</b>	14,142	322,441	11,031	322,441	14,142	305,470	11,031	322,441
<b>950</b>	14,142	322,441	10,889	316,784	14,142	305,470	11,031	322,441
<b>1000</b>	14,142	316,784	10,889	316,784	14,142	305,470	10,889	316,784
<b>1050</b>	14,142	316,784	10,889	316,784	14,142	305,470	10,889	316,784
<b>1100</b>	14,142	316,784	10,748	316,784	14,142	299,813	10,889	316,784
<b>1150</b>	14,142	316,784	10,748	316,784	14,142	299,813	10,748	316,784
<b>1200</b>	14,142	311,127	10,607	316,784	14,142	299,813	10,748	316,784
<b>1250</b>	14,142	311,127	10,607	311,127	14,142	299,813	10,748	311,127
<b>1300</b>	14,142	311,127	10,607	311,127	14,142	299,813	10,607	311,127
<b>1350</b>	14,142	311,127	10,607	311,127	14,142	294,156	10,607	311,127
<b>1400</b>	14,142	305,470	10,465	305,470	14,142	294,156	10,607	311,127
<b>1450</b>	14,142	305,470	10,324	305,470	14,142	294,156	10,465	305,470
<b>1500</b>	14,142	299,813	10,324	299,813	14,142	294,156	10,465	305,470
<b>1550</b>	14,142	299,813	10,182	299,813	14,142	288,500	10,324	305,470
<b>1600</b>	14,142	294,156	10,182	299,813	14,142	288,500	10,324	305,470
<b>1650</b>	14,142	294,156	10,182	299,813	14,142	288,500	10,182	299,813
<b>1700</b>	14,142	294,156	10,041	294,156	14,142	282,843	10,182	299,813
<b>1750</b>	14,142	288,500	10,041	294,156	14,142	282,843	10,041	299,813
<b>1800</b>	14,142	288,500	9,899	294,156	14,142	277,186	10,041	294,156
<b>1850</b>	14,142	288,500	9,899	288,500	14,142	277,186	10,041	294,156
<b>1900</b>	14,142	288,500	9,758	288,500	14,142	277,186	9,899	294,156
<b>1950</b>	14,142	282,843	9,617	288,500	14,142	277,186	9,899	288,500
<b>2000</b>	14,142	282,843	9,617	282,843	14,142	271,529	9,758	288,500
<b>2050</b>	14,142	277,186	9,617	282,843	14,142	271,529	9,758	288,500
<b>2100</b>	14,142	277,186	9,475	282,843	14,142	271,529	9,758	288,500
<b>2150</b>	14,142	271,529	9,475	277,186	14,142	271,529	9,617	282,843
<b>2200</b>	14,142	271,529	9,475	277,186	14,142	265,872	9,617	282,843
<b>2250</b>	14,142	271,529	9,334	271,529	14,142	265,872	9,475	282,843
<b>2300</b>	14,142	265,872	9,192	271,529	14,142	260,215	9,475	277,186
<b>2350</b>	14,142	265,872	9,192	271,529	14,142	260,215	9,334	277,186
<b>2400</b>	14,142	260,215	9,051	271,529	14,142	260,215	9,334	277,186
<b>2450</b>	14,142	260,215	9,051	265,872	14,142	260,215	9,334	271,529
<b>2500</b>	14,142	260,215	8,910	265,872	14,142	260,215	9,192	271,529

Tab. 6 Efektivní hodnoty transformátorů při jmenovitém zatížení

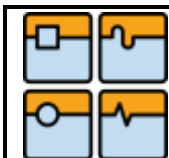


Graf 2 Výstupní napětí při jmenovitém zatížení



Zdánlivý výkon - S ; činný výkon - P								
Elektrotechnický plech			$\phi$ [rad]	$\cos \phi$ [-]	$P_1$ (W)	$P_2 \approx S_2$ (W)	Účinnost $\mu$ (%)	Celkové ztráty $P_\Delta$ (W)
f (Hz)	$S_1$ (VA)	$S_2$ (VA)						
50	28,800	3,344	0,0000	1,0000	28,8000	3,344	0,1161	25,45600
100	4,800	3,823	0,8166	0,9999	4,7995	3,823	0,7966	0,97631
150	4,720	3,712	2,1133	0,9993	4,7168	3,712	0,7870	1,00479
200	4,800	3,712	3,3815	0,9983	4,7916	3,712	0,7747	1,07964
250	4,800	3,712	4,6218	0,9967	4,7844	3,712	0,7759	1,07239
300	4,720	3,712	5,8348	0,9948	4,6955	3,712	0,7905	0,98355
350	4,720	3,712	7,0209	0,9925	4,6846	3,712	0,7924	0,97261
400	4,640	3,648	8,1807	0,9898	4,5928	3,648	0,7943	0,94478
450	4,720	3,712	9,3147	0,9868	4,6578	3,712	0,7969	0,94576
500	4,720	3,712	10,4234	0,9835	4,6421	3,712	0,7996	0,93011
550	4,640	3,602	11,5074	0,9799	4,5467	3,602	0,7923	0,94433
600	4,640	3,602	12,5671	0,9760	4,5288	3,602	0,7954	0,92643
650	4,640	3,602	13,6031	0,9719	4,5098	3,602	0,7988	0,90744
700	4,640	3,602	14,6160	0,9676	4,4898	3,602	0,8023	0,88744
750	4,640	3,557	15,6062	0,9631	4,4689	3,557	0,7959	0,91214
800	4,560	3,557	16,5743	0,9585	4,3705	3,557	0,8138	0,81373
850	4,560	3,494	17,5208	0,9536	4,3485	3,494	0,8036	0,85405
900	4,560	3,557	18,4462	0,9486	4,3257	3,557	0,8222	0,76891
950	4,560	3,450	19,3511	0,9435	4,3024	3,450	0,8018	0,85279
1000	4,480	3,450	20,2359	0,9383	4,2035	3,450	0,8207	0,75388
1050	4,480	3,450	21,1012	0,9329	4,1796	3,450	0,8253	0,73000
1100	4,480	3,405	21,9476	0,9275	4,1553	3,405	0,8194	0,75052
1150	4,480	3,405	22,7755	0,9220	4,1307	3,405	0,8243	0,72589
1200	4,400	3,360	23,5855	0,9165	4,0324	3,360	0,8332	0,67244
1250	4,400	3,300	24,3781	0,9108	4,0077	3,300	0,8234	0,70770
1300	4,400	3,300	25,1538	0,9052	3,9827	3,300	0,8286	0,68275
1350	4,400	3,300	25,9132	0,8995	3,9576	3,300	0,8338	0,65761
1400	4,320	3,197	26,6567	0,8937	3,8608	3,197	0,8280	0,66403
1450	4,320	3,154	27,3849	0,8879	3,8359	3,154	0,8221	0,68228
1500	4,240	3,095	28,0984	0,8821	3,7403	3,095	0,8275	0,64507
1550	4,240	3,053	28,7976	0,8763	3,7156	3,053	0,8216	0,66283
1600	4,160	3,053	29,4831	0,8705	3,6213	3,053	0,8430	0,56848
1650	4,160	3,053	30,1554	0,8647	3,5970	3,053	0,8487	0,54421
1700	4,160	2,954	30,8150	0,8588	3,5727	2,954	0,8267	0,61912
1750	4,080	2,954	31,4625	0,8530	3,4802	2,954	0,8487	0,52657
1800	4,080	2,912	32,0983	0,8471	3,4563	2,912	0,8425	0,54432
1850	4,080	2,856	32,7230	0,8413	3,4325	2,856	0,8321	0,57648
1900	4,080	2,815	33,3372	0,8355	3,4086	2,815	0,8259	0,59344
1950	4,000	2,774	33,9413	0,8296	3,3184	2,774	0,8361	0,54404
2000	4,000	2,720	34,5359	0,8238	3,2951	2,720	0,8255	0,57508
2050	3,920	2,720	35,1215	0,8179	3,2063	2,720	0,8483	0,48630
2100	3,920	2,680	35,6986	0,8121	3,1834	2,680	0,8419	0,50342
2150	3,840	2,626	36,2678	0,8063	3,0960	2,626	0,8483	0,46964
2200	3,840	2,626	36,8295	0,8004	3,0736	2,626	0,8545	0,44722
2250	3,840	2,534	37,3843	0,7946	3,0512	2,534	0,8306	0,51679
2300	3,760	2,496	37,9328	0,7887	2,9656	2,496	0,8416	0,46963
2350	3,760	2,496	38,4754	0,7829	2,9436	2,496	0,8479	0,44761
2400	3,680	2,458	39,0127	0,7770	2,8594	2,458	0,8595	0,40178
2450	3,680	2,406	39,5452	0,7711	2,8377	2,406	0,8480	0,43133
2500	3,680	2,369	40,0734	0,7652	2,8160	2,369	0,8412	0,44721

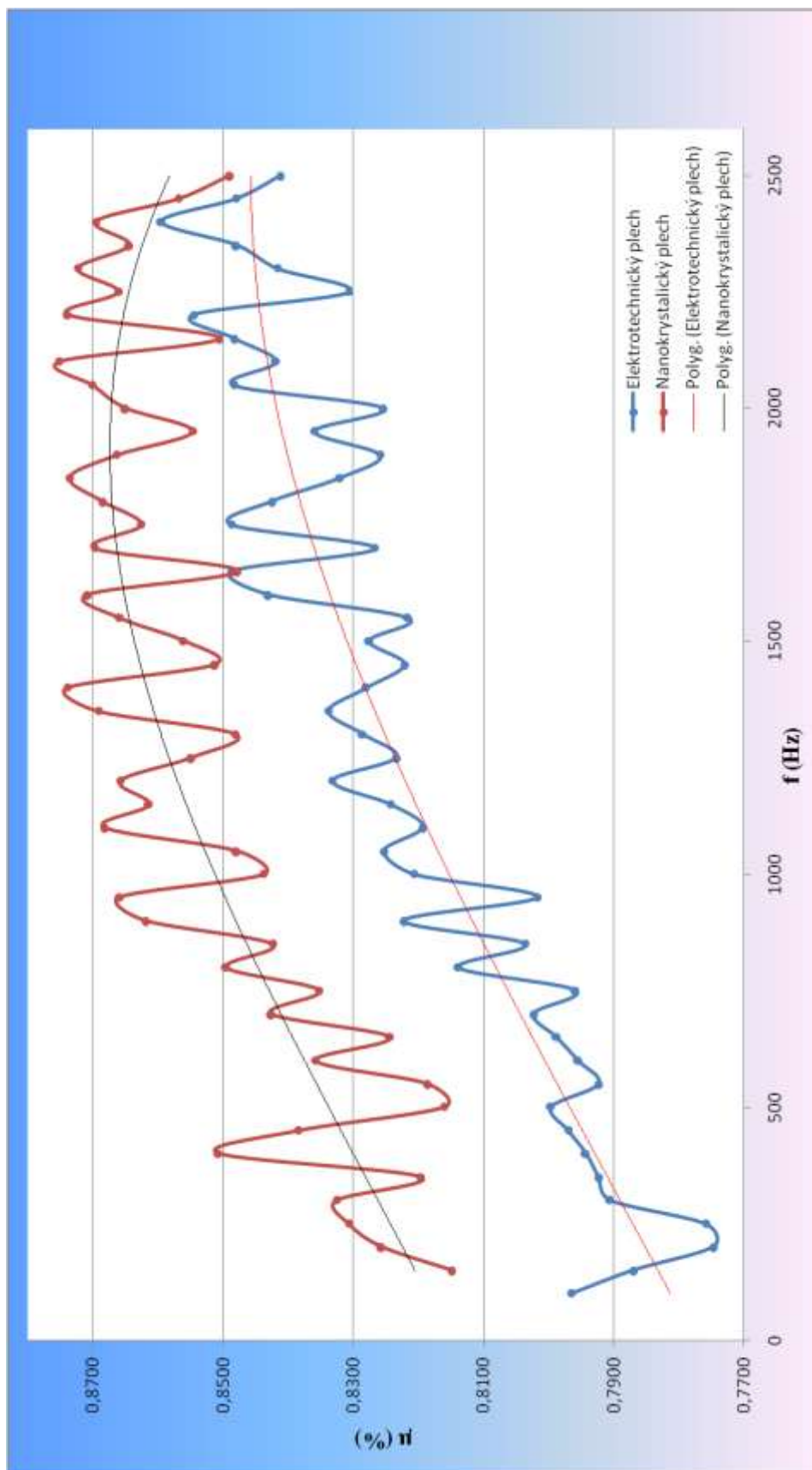
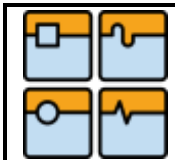
Tab. 7 Činný výkon a účinnost transformátorů při jmenovitém zatížení pro elektrotechnický plech



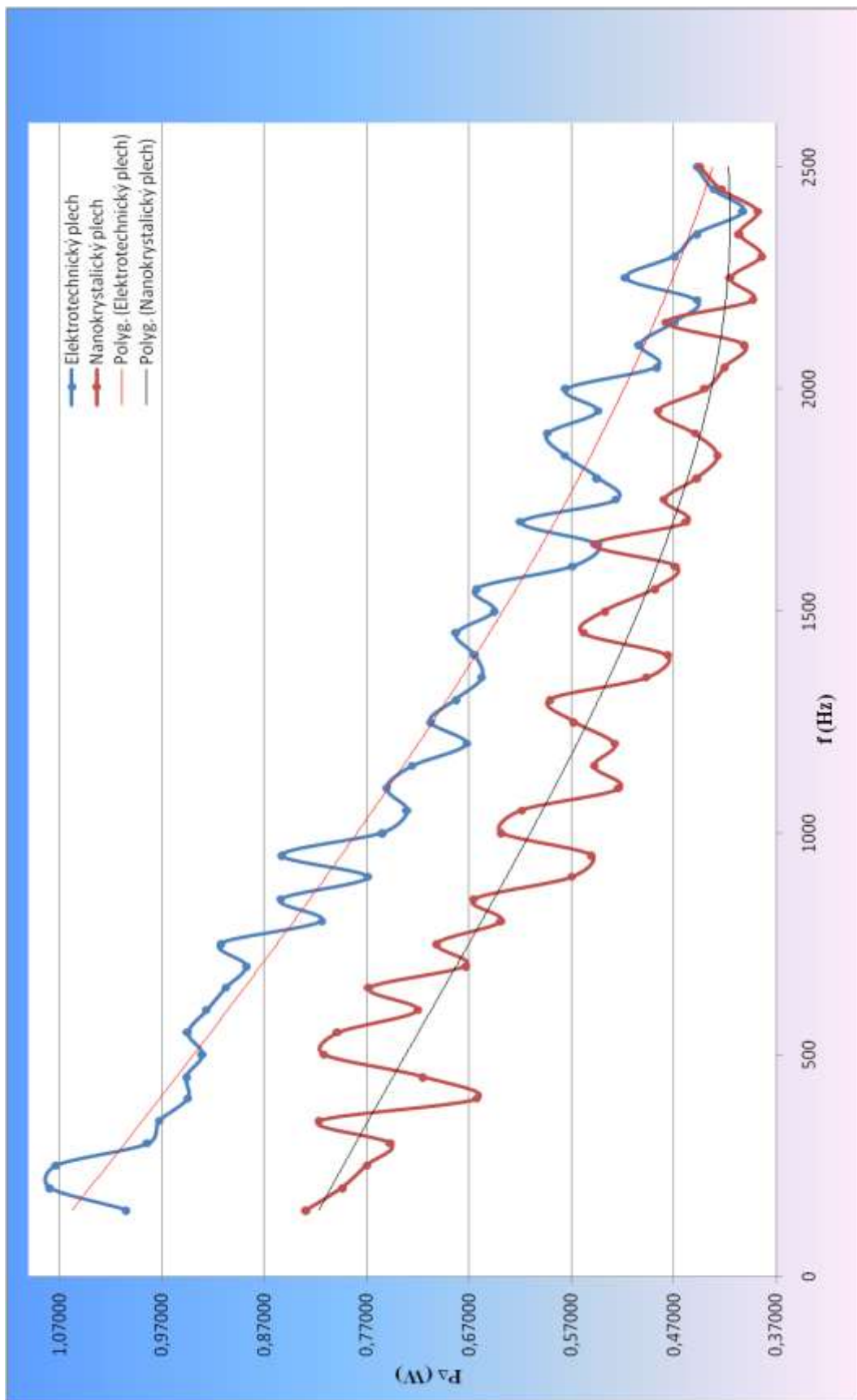
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zdánlivý výkon - S ; činný výkon - P								
Nanokrystalický plech			$\phi$ [rad]	cos $\phi$ [-]	$P_1$ (W)	$P_2 \approx S_2$ (W)	Účinnost $\mu$ (%)	Celkové ztráty $P_\Delta$ (W)
f (Hz)	$S_1$ (VA)	$S_2$ (VA)						
50	45,600	2,954	0,0000	1,0000	45,6000	2,954	0,0648	42,64640
100	19,600	3,539	1,0773	0,9998	19,5965	3,539	0,1806	16,05734
150	4,480	3,648	2,2510	0,9992	4,4765	3,648	0,8149	0,82854
200	4,560	3,758	3,4008	0,9982	4,5520	3,758	0,8257	0,79357
250	4,560	3,776	4,5271	0,9969	4,5458	3,776	0,8307	0,76977
300	4,480	3,712	5,6303	0,9952	4,4584	3,712	0,8326	0,74639
350	4,560	3,712	6,7107	0,9931	4,5288	3,712	0,8197	0,81676
400	4,480	3,776	7,7688	0,9908	4,4389	3,776	0,8507	0,66288
450	4,480	3,712	8,8049	0,9882	4,4272	3,712	0,8385	0,71520
500	4,480	3,602	9,8193	0,9854	4,4144	3,602	0,8161	0,81197
550	4,480	3,602	10,8125	0,9822	4,4005	3,602	0,8186	0,79806
600	4,480	3,666	11,7848	0,9789	4,3856	3,666	0,8358	0,71997
650	4,480	3,602	12,7366	0,9754	4,3698	3,602	0,8244	0,76736
700	4,400	3,602	13,6683	0,9717	4,2754	3,602	0,8426	0,67299
750	4,400	3,557	14,5802	0,9678	4,2583	3,557	0,8353	0,70150
800	4,400	3,602	15,4728	0,9638	4,2405	3,602	0,8495	0,63813
850	4,400	3,557	16,3464	0,9596	4,2221	3,557	0,8424	0,66534
900	4,320	3,557	17,2013	0,9553	4,1268	3,557	0,8619	0,56997
950	4,320	3,557	18,0380	0,9509	4,1077	3,557	0,8659	0,55088
1000	4,320	3,450	18,8568	0,9463	4,0881	3,450	0,8438	0,63854
1050	4,320	3,450	19,6581	0,9417	4,0682	3,450	0,8479	0,61862
1100	4,240	3,450	20,4423	0,9370	3,9730	3,450	0,8683	0,52338
1150	4,240	3,405	21,2097	0,9323	3,9528	3,405	0,8614	0,54799
1200	4,240	3,405	21,9608	0,9274	3,9323	3,405	0,8658	0,52755
1250	4,240	3,344	22,6959	0,9226	3,9117	3,344	0,8549	0,56768
1300	4,240	3,300	23,4153	0,9176	3,8908	3,300	0,8481	0,59083
1350	4,160	3,300	24,1195	0,9127	3,7968	3,300	0,8692	0,49681
1400	4,160	3,300	24,8088	0,9077	3,7761	3,300	0,8739	0,47609
1450	4,160	3,197	25,4836	0,9027	3,7553	3,197	0,8513	0,55847
1500	4,160	3,197	26,1443	0,8977	3,7344	3,197	0,8560	0,53758
1550	4,080	3,154	26,7912	0,8927	3,6420	3,154	0,8659	0,48843
1600	4,080	3,154	27,4248	0,8876	3,6215	3,154	0,8708	0,46787
1650	4,080	3,053	28,0454	0,8826	3,6009	3,053	0,8478	0,54811
1700	4,000	3,053	28,6533	0,8775	3,5101	3,053	0,8697	0,45735
1750	4,000	3,010	29,2490	0,8725	3,4900	3,010	0,8626	0,47962
1800	3,920	2,954	29,8328	0,8675	3,4005	2,954	0,8686	0,44692
1850	3,920	2,954	30,4051	0,8625	3,3809	2,954	0,8736	0,42728
1900	3,920	2,912	30,9663	0,8575	3,3613	2,912	0,8663	0,44928
1950	3,920	2,856	31,5167	0,8525	3,3418	2,856	0,8546	0,48575
2000	3,840	2,815	32,0568	0,8475	3,2545	2,815	0,8650	0,43929
2050	3,840	2,815	32,5869	0,8426	3,2355	2,815	0,8701	0,42029
2100	3,840	2,815	33,1073	0,8376	3,2166	2,815	0,8752	0,40137
2150	3,840	2,720	33,6185	0,8327	3,1977	2,720	0,8506	0,47773
2200	3,760	2,720	34,1208	0,8279	3,1127	2,720	0,8738	0,39274
2250	3,760	2,680	34,6146	0,8230	3,0944	2,680	0,8661	0,41445
2300	3,680	2,626	35,1003	0,8181	3,0108	2,626	0,8723	0,38438
2350	3,680	2,587	35,5782	0,8133	2,9930	2,587	0,8644	0,40582
2400	3,680	2,587	36,0488	0,8085	2,9753	2,587	0,8695	0,38814
2450	3,680	2,534	36,5124	0,8037	2,9577	2,534	0,8569	0,42332
2500	3,680	2,496	36,9693	0,7990	2,9402	2,496	0,8489	0,44416

Tab. 8 Činný výkon a účinnost transformátorů při jmenovitém zatížení pro nanokrystalický plech



Graf 3 Účinnost transformátorů při jmenovitém zatížení



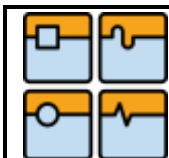
Graf 4 Celkové ztráty při jmenovitém zatížení

### 8.4. Hodnoty transformátorů při 200% zatížení

Na výstupní straně byly zatěžovány oba jednofázové transformátory odporovou zátěží o velikosti 20Ω. Následný postup je stejný jako v bodě 8.3.

Špičkové hodnoty - odečteny										Poměr ztrát $k_u$ ; $k_t$			
200% zatížení - elektrotechnický plech					200% zatížení - nanokrystalický plech					Elektrotechnický plech		Nanokrystalický plech	
f (Hz)	U <sub>1</sub> (V)	I <sub>1</sub> (mA)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (mA)	U <sub>1</sub> (V)	I <sub>1</sub> (mA)	U <sub>2</sub> (V)	I <sub>2</sub> (mA)	f (Hz)	k <sub>u</sub> (-)	k <sub>t</sub> (-)	k <sub>u</sub> (-)	k <sub>t</sub> (-)
50	20	1200	11,00	1100	20	4160	9,00	980	50	0,55	1,09	0,45	4,24
100	20	1120	10,80	1100	20	1060	10,20	1060	100	0,54	1,02	0,51	1,00
150	20	1100	10,60	1100	20	1080	10,60	1080	150	0,53	1,00	0,53	1,00
200	20	1060	10,40	1080	20	1080	10,40	1080	200	0,52	0,98	0,52	1,00
250	20	1040	10,20	1040	20	1060	10,60	1080	250	0,51	1,00	0,53	0,98
300	20	1060	10,20	1040	20	1060	10,40	1060	300	0,51	1,02	0,52	1,00
350	20	1060	10,20	1040	20	1040	10,40	1060	350	0,51	1,02	0,52	0,98
400	20	1040	10,00	1020	20	1040	10,40	1040	400	0,50	1,02	0,52	1,00
450	20	1040	9,80	1020	20	1020	10,00	1020	450	0,49	1,02	0,50	1,00
500	20	1040	9,80	1000	20	1020	10,00	1020	500	0,49	1,04	0,50	1,00
550	20	1020	9,60	1000	20	1020	10,00	1020	550	0,48	1,02	0,50	1,00
600	20	1020	9,60	1000	20	980	9,60	980	600	0,48	1,02	0,48	1,00
650	20	980	9,40	980	20	980	9,60	980	650	0,47	1,00	0,48	1,00
700	20	980	9,40	960	20	980	9,40	960	700	0,47	1,02	0,47	1,02
750	20	960	9,20	940	20	960	9,40	960	750	0,46	1,02	0,47	1,00
800	20	960	9,20	940	20	960	9,40	960	800	0,46	1,02	0,47	1,00
850	20	940	9,00	920	20	920	9,00	920	850	0,45	1,02	0,45	1,00
900	20	940	8,80	900	20	920	9,00	920	900	0,44	1,04	0,45	1,00
950	20	920	8,80	900	20	900	8,80	900	950	0,44	1,02	0,44	1,00
1000	20	900	8,60	880	20	900	8,80	900	1000	0,43	1,02	0,44	1,00
1050	20	880	8,60	860	20	880	8,60	860	1050	0,43	1,02	0,43	1,02
1100	20	860	8,20	840	20	860	8,40	860	1100	0,41	1,02	0,42	1,00
1150	20	860	8,20	840	20	840	8,20	840	1150	0,41	1,02	0,41	1,00
1200	20	840	8,00	820	20	840	8,20	840	1200	0,40	1,02	0,41	1,00
1250	20	820	8,00	800	20	820	8,00	820	1250	0,40	1,03	0,40	1,00
1300	20	800	7,92	800	20	800	8,00	800	1300	0,40	1,00	0,40	1,00
1350	20	780	7,76	780	20	780	7,80	800	1350	0,39	1,00	0,39	0,98
1400	20	780	7,60	760	20	780	7,84	780	1400	0,38	1,03	0,39	1,00
1450	20	760	7,52	740	20	760	7,68	760	1450	0,38	1,03	0,38	1,00
1500	20	740	7,36	740	20	740	7,60	740	1500	0,37	1,00	0,38	1,00
1550	20	740	7,28	740	20	740	7,44	740	1550	0,36	1,00	0,37	1,00
1600	20	740	7,28	736	20	720	7,28	720	1600	0,36	1,01	0,36	1,00
1650	20	720	7,12	728	20	700	7,12	700	1650	0,36	0,99	0,36	1,00
1700	20	700	6,88	704	20	700	7,04	700	1700	0,34	0,99	0,35	1,00
1750	20	700	6,80	696	20	680	6,96	680	1750	0,34	1,01	0,35	1,00
1800	20	680	6,72	686	20	680	6,88	680	1800	0,34	0,99	0,34	1,00
1850	20	660	6,56	672	20	656	6,72	696	1850	0,33	0,98	0,34	0,94
1900	20	660	6,48	664	20	640	6,64	672	1900	0,32	0,99	0,33	0,95
1950	20	640	6,40	656	20	624	6,40	656	1950	0,32	0,98	0,32	0,95
2000	20	640	6,24	640	20	624	6,40	656	2000	0,31	1,00	0,32	0,95
2050	20	620	6,16	632	20	616	6,24	648	2050	0,31	0,98	0,31	0,95
2100	20	620	6,08	624	20	600	6,16	632	2100	0,30	0,99	0,31	0,95
2150	20	600	6,00	616	20	584	6,08	624	2150	0,30	0,97	0,30	0,94
2200	20	592	5,92	608	20	584	6,08	616	2200	0,30	0,97	0,30	0,95
2250	20	576	5,84	600	20	576	5,92	608	2250	0,29	0,96	0,30	0,95
2300	20	568	5,76	592	20	568	5,84	600	2300	0,29	0,96	0,29	0,95
2350	20	560	5,68	584	20	552	5,76	592	2350	0,28	0,96	0,29	0,93
2400	20	552	5,52	568	20	552	5,68	584	2400	0,28	0,97	0,28	0,95
2450	20	544	5,44	560	20	536	5,52	568	2450	0,27	0,97	0,28	0,94
2500	20	536	5,36	552	20	528	5,52	568	2500	0,27	0,97	0,28	0,93

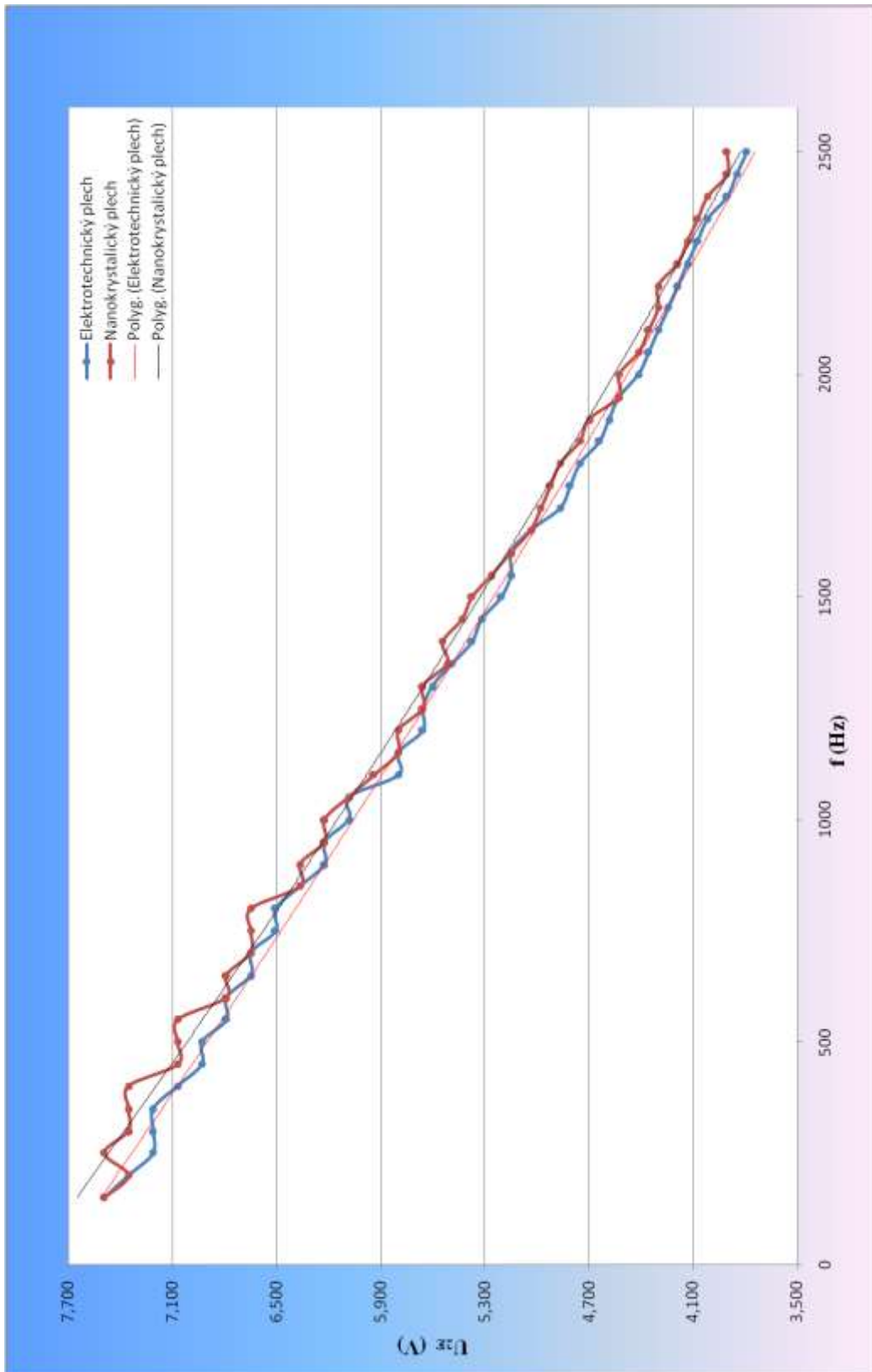
Tab. 9 Špičkové hodnoty transformátorů 200% zatížení



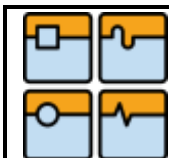
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Efektivní hodnoty								
200% zatížení - elektrotechnický plech					200% zatížení - nanokrystalický plech			
f (Hz)	U <sub>IE</sub> (V)	I <sub>IE</sub> (mA)	U <sub>ZE</sub> (V)	I <sub>LE</sub> (mA)	U <sub>IE</sub> (V)	I <sub>IE</sub> (mA)	U <sub>ZE</sub> (V)	I <sub>LE</sub> (mA)
50	14,142	848,528	7,778	777,817	14,142	2941,564	6,364	692,965
100	14,142	791,960	7,637	777,817	14,142	749,533	7,212	749,533
150	14,142	777,817	7,495	777,817	14,142	763,675	7,495	763,675
200	14,142	749,533	7,354	763,675	14,142	763,675	7,354	763,675
250	14,142	735,391	7,212	735,391	14,142	749,533	7,495	763,675
300	14,142	749,533	7,212	735,391	14,142	749,533	7,354	749,533
350	14,142	749,533	7,212	735,391	14,142	735,391	7,354	749,533
400	14,142	735,391	7,071	721,249	14,142	735,391	7,354	735,391
450	14,142	735,391	6,930	721,249	14,142	721,249	7,071	721,249
500	14,142	735,391	6,930	707,107	14,142	721,249	7,071	721,249
550	14,142	721,249	6,788	707,107	14,142	721,249	7,071	721,249
600	14,142	721,249	6,788	707,107	14,142	692,965	6,788	692,965
650	14,142	692,965	6,647	692,965	14,142	692,965	6,788	692,965
700	14,142	692,965	6,647	678,823	14,142	692,965	6,647	678,823
750	14,142	678,823	6,505	664,680	14,142	678,823	6,647	678,823
800	14,142	678,823	6,505	664,680	14,142	678,823	6,647	678,823
850	14,142	664,680	6,364	650,538	14,142	650,538	6,364	650,538
900	14,142	664,680	6,223	636,396	14,142	650,538	6,364	650,538
950	14,142	650,538	6,223	636,396	14,142	636,396	6,223	636,396
1000	14,142	636,396	6,081	622,254	14,142	636,396	6,223	636,396
1050	14,142	622,254	6,081	608,112	14,142	622,254	6,081	608,112
1100	14,142	608,112	5,798	593,970	14,142	608,112	5,940	608,112
1150	14,142	608,112	5,798	593,970	14,142	593,970	5,798	593,970
1200	14,142	593,970	5,657	579,828	14,142	593,970	5,798	593,970
1250	14,142	579,828	5,657	565,685	14,142	579,828	5,657	579,828
1300	14,142	565,685	5,600	565,685	14,142	565,685	5,657	565,685
1350	14,142	551,543	5,487	551,543	14,142	551,543	5,515	565,685
1400	14,142	551,543	5,374	537,401	14,142	551,543	5,544	551,543
1450	14,142	537,401	5,317	523,259	14,142	537,401	5,431	537,401
1500	14,142	523,259	5,204	523,259	14,142	523,259	5,374	523,259
1550	14,142	523,259	5,148	523,259	14,142	523,259	5,261	523,259
1600	14,142	523,259	5,148	520,431	14,142	509,117	5,148	509,117
1650	14,142	509,117	5,035	514,774	14,142	494,975	5,035	494,975
1700	14,142	494,975	4,865	497,803	14,142	494,975	4,978	494,975
1750	14,142	494,975	4,808	492,146	14,142	480,833	4,921	480,833
1800	14,142	480,833	4,752	485,075	14,142	480,833	4,865	480,833
1850	14,142	466,690	4,639	475,176	14,142	463,862	4,752	492,146
1900	14,142	466,690	4,582	469,519	14,142	452,548	4,695	475,176
1950	14,142	452,548	4,525	463,862	14,142	441,235	4,525	463,862
2000	14,142	452,548	4,412	452,548	14,142	441,235	4,525	463,862
2050	14,142	438,406	4,356	446,891	14,142	435,578	4,412	458,205
2100	14,142	438,406	4,299	441,235	14,142	424,264	4,356	446,891
2150	14,142	424,264	4,243	435,578	14,142	412,950	4,299	441,235
2200	14,142	418,607	4,186	429,921	14,142	412,950	4,299	435,578
2250	14,142	407,294	4,130	424,264	14,142	407,294	4,186	429,921
2300	14,142	401,637	4,073	418,607	14,142	401,637	4,130	424,264
2350	14,142	395,980	4,016	412,950	14,142	390,323	4,073	418,607
2400	14,142	390,323	3,903	401,637	14,142	390,323	4,016	412,950
2450	14,142	384,666	3,847	395,980	14,142	379,009	3,903	401,637
2500	14,142	379,009	3,790	390,323	14,142	373,352	3,903	401,637

Tab. 10 Efektivní hodnoty transformátorů při 200% zatížení



Graf 5 Výstupní napětí při 200% přetížení



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zdánlivý výkon - S ; činný výkon - P								
Elektrotechnický plech			$\phi$ [rad]	cos $\phi$ [-]	$P_1$ (W)	$P_2 \approx S_2$ (W)	Účinnost $\mu$ (%)	Celkové ztráty $P_\Delta$ (W)
f (Hz)	$S_1$ (VA)	$S_2$ (VA)						
50	12,00	6,050	-0,7771	0,9999	11,9989	6,050	0,5042	5,94890
100	11,20	5,940	1,9605	0,9994	11,1934	5,940	0,5307	5,25344
150	11,00	5,830	4,6026	0,9968	10,9645	5,830	0,5317	5,13453
200	10,60	5,616	7,1515	0,9922	10,5175	5,616	0,5340	4,90154
250	10,40	5,304	9,6094	0,9860	10,2541	5,304	0,5173	4,95007
300	10,60	5,304	11,9785	0,9782	10,3692	5,304	0,5115	5,06519
350	10,60	5,304	14,2611	0,9692	10,2733	5,304	0,5163	4,96934
400	10,40	5,100	16,4595	0,9590	9,9738	5,100	0,5113	4,87381
450	10,40	4,998	18,5759	0,9479	9,8582	4,998	0,5070	4,86019
500	10,40	4,900	20,6125	0,9360	9,7342	4,900	0,5034	4,83422
550	10,20	4,800	22,5716	0,9234	9,4187	4,800	0,5096	4,61868
600	10,20	4,800	24,4555	0,9103	9,2849	4,800	0,5170	4,48489
650	9,80	4,606	26,2664	0,8967	8,7881	4,606	0,5241	4,18211
700	9,80	4,512	28,0065	0,8829	8,6524	4,512	0,5215	4,14036
750	9,60	4,324	29,6781	0,8688	8,3407	4,324	0,5184	4,01668
800	9,60	4,324	31,2835	0,8546	8,2042	4,324	0,5270	3,88024
850	9,40	4,140	32,8249	0,8403	7,8991	4,140	0,5241	3,75911
900	9,40	3,960	34,3045	0,8261	7,7649	3,960	0,5100	3,80491
950	9,20	3,960	35,7246	0,8118	7,4689	3,960	0,5302	3,50886
1000	9,00	3,784	37,0875	0,7977	7,1794	3,784	0,5271	3,39544
1050	8,80	3,698	38,3954	0,7837	6,8969	3,698	0,5362	3,19894
1100	8,60	3,444	39,6505	0,7700	6,6216	3,444	0,5201	3,17758
1150	8,60	3,444	40,8551	0,7564	6,5047	3,444	0,5295	3,06075
1200	8,40	3,280	42,0115	0,7430	6,2413	3,280	0,5255	2,96129
1250	8,20	3,200	43,1219	0,7299	5,9852	3,200	0,5347	2,78519
1300	8,00	3,168	44,1885	0,7171	5,7364	3,168	0,5523	2,56840
1350	7,80	3,026	45,2136	0,7045	5,4948	3,026	0,5508	2,46843
1400	7,80	2,888	46,1995	0,6921	5,3988	2,888	0,5349	2,51077
1450	7,60	2,782	47,1484	0,6801	5,1688	2,782	0,5383	2,38638
1500	7,40	2,723	48,0625	0,6683	4,9456	2,723	0,5506	2,22236
1550	7,40	2,694	48,9441	0,6568	4,8603	2,694	0,5542	2,16668
1600	7,40	2,679	49,7955	0,6455	4,7768	2,679	0,5608	2,09779
1650	7,20	2,592	50,6189	0,6345	4,5682	2,592	0,5673	1,97655
1700	7,00	2,422	51,4165	0,6237	4,3656	2,422	0,5547	1,94382
1750	7,00	2,366	52,1906	0,6130	4,2913	2,366	0,5514	1,92485
1800	6,80	2,305	52,9435	0,6026	4,0977	2,305	0,5625	1,79274
1850	6,60	2,204	53,6774	0,5923	3,9094	2,204	0,5638	1,70523
1900	6,60	2,151	54,3945	0,5822	3,8425	2,151	0,5599	1,69117
1950	6,40	2,099	55,0971	0,5722	3,6620	2,099	0,5732	1,56280
2000	6,40	1,997	55,7875	0,5623	3,5985	1,997	0,5549	1,60169
2050	6,20	1,947	56,4679	0,5524	3,4249	1,947	0,5684	1,47835
2100	6,20	1,897	57,1405	0,5426	3,3640	1,897	0,5639	1,46704
2150	6,00	1,848	57,8076	0,5328	3,1966	1,848	0,5781	1,34858
2200	5,92	1,800	58,4715	0,5229	3,0957	1,800	0,5813	1,29602
2250	5,76	1,752	59,1344	0,5130	2,9550	1,752	0,5929	1,20303
2300	5,68	1,705	59,7985	0,5030	2,8573	1,705	0,5967	1,15232
2350	5,60	1,659	60,4661	0,4929	2,7605	1,659	0,6008	1,10189
2400	5,52	1,568	61,1395	0,4827	2,6644	1,568	0,5884	1,09671
2450	5,44	1,523	61,8209	0,4722	2,5689	1,523	0,5929	1,04573
2500	5,36	1,479	62,5125	0,4616	2,4739	1,479	0,5980	0,99458

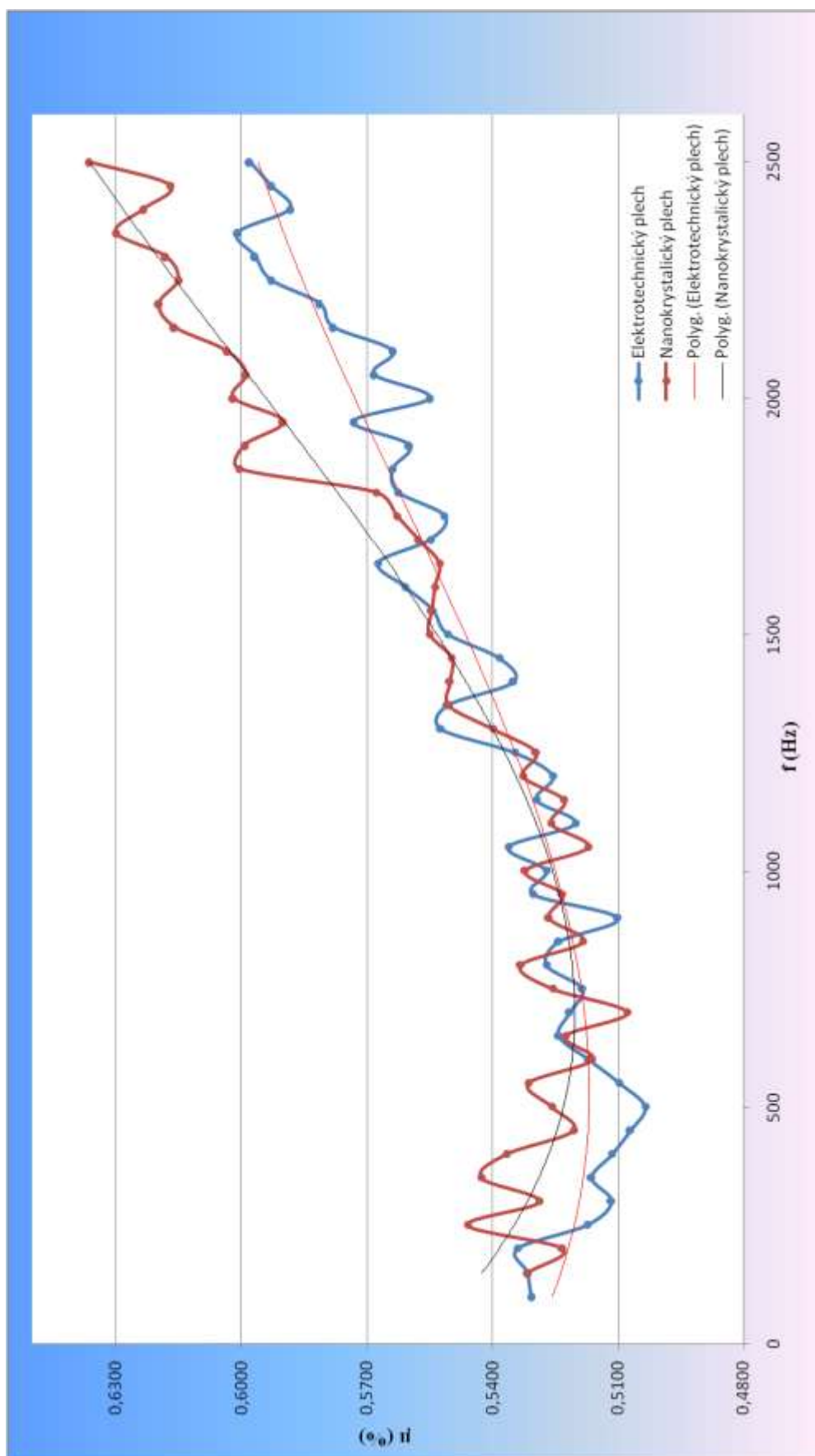
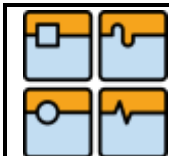
Tab. 11 Činný výkon a účinnost transformátorů při 200% zatížení pro elektrotechnický plech



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zdánlivý výkon - S ; činný výkon - P								
Nanokrystalický plech			$\phi$ [rad]	$\cos \phi$ [-]	$P_1$ (W)	$P_2 \approx S_2$ (W)	Účinnost $\mu$ (%)	Celkové ztráty $P_A$ (W)
f (Hz)	$S_1$ (VA)	$S_2$ (VA)						
50	41,60	4,410	0,0000	1,0000	41,6000	4,410	0,1060	37,19000
100	10,60	5,406	2,1819	0,9993	10,5923	5,406	0,5104	5,18631
150	10,80	5,724	4,3016	0,9972	10,7696	5,724	0,5315	5,04558
200	10,80	5,616	6,3797	0,9938	10,7331	5,616	0,5232	5,11712
250	10,60	5,724	8,4165	0,9892	10,4858	5,724	0,5459	4,76184
300	10,60	5,512	10,4123	0,9835	10,4254	5,512	0,5287	4,91345
350	10,40	5,512	12,3674	0,9768	10,1587	5,512	0,5426	4,64666
400	10,40	5,408	14,2821	0,9691	10,0786	5,408	0,5366	4,67057
450	10,20	5,100	16,1567	0,9605	9,7971	5,100	0,5206	4,69714
500	10,20	5,100	17,9915	0,9511	9,7012	5,100	0,5257	4,60124
550	10,20	5,100	19,7868	0,9410	9,5978	5,100	0,5314	4,49778
600	9,80	4,704	21,5429	0,9301	9,1154	4,704	0,5160	4,41140
650	9,80	4,704	23,2601	0,9187	9,0035	4,704	0,5225	4,29947
700	9,80	4,512	24,9387	0,9068	8,8862	4,512	0,5078	4,37424
750	9,60	4,512	26,5790	0,8943	8,5855	4,512	0,5255	4,07346
800	9,60	4,512	28,1813	0,8815	8,4620	4,512	0,5332	3,94999
850	9,20	4,140	29,7459	0,8682	7,9878	4,140	0,5183	3,84776
900	9,20	4,140	31,2731	0,8547	7,8633	4,140	0,5265	3,72326
950	9,00	3,960	32,7632	0,8409	7,5682	3,960	0,5232	3,60823
1000	9,00	3,960	34,2165	0,8269	7,4423	3,960	0,5321	3,48227
1050	8,80	3,698	35,6333	0,8128	7,1523	3,698	0,5170	3,45431
1100	8,60	3,612	37,0139	0,7985	6,8670	3,612	0,5260	3,25501
1150	8,40	3,444	38,3586	0,7841	6,5868	3,444	0,5229	3,14279
1200	8,40	3,444	39,6677	0,7698	6,4660	3,444	0,5326	3,02198
1250	8,20	3,280	40,9415	0,7554	6,1941	3,280	0,5295	2,91411
1300	8,00	3,200	42,1803	0,7410	5,9283	3,200	0,5398	2,72828
1350	7,80	3,120	43,3844	0,7268	5,6687	3,120	0,5504	2,54874
1400	7,80	3,058	44,5541	0,7126	5,5582	3,058	0,5501	2,50059
1450	7,60	2,918	45,6897	0,6985	5,3089	2,918	0,5497	2,39053
1500	7,40	2,812	46,7915	0,6847	5,0664	2,812	0,5550	2,25445
1550	7,40	2,753	47,8598	0,6709	4,9650	2,753	0,5544	2,21221
1600	7,20	2,621	48,8949	0,6574	4,7336	2,621	0,5537	2,11278
1650	7,00	2,492	49,8971	0,6442	4,5091	2,492	0,5527	2,01714
1700	7,00	2,464	50,8667	0,6311	4,4179	2,464	0,5577	1,95389
1750	6,80	2,366	51,8040	0,6184	4,2048	2,366	0,5628	1,83840
1800	6,80	2,339	52,7093	0,6059	4,1198	2,339	0,5678	1,78064
1850	6,56	2,339	53,5829	0,5937	3,8944	2,339	0,6005	1,55584
1900	6,40	2,231	54,4251	0,5818	3,7233	2,231	0,5992	1,49227
1950	6,24	2,099	55,2362	0,5702	3,5580	2,099	0,5900	1,45881
2000	6,24	2,099	56,0165	0,5590	3,4879	2,099	0,6019	1,38867
2050	6,16	2,022	56,7663	0,5481	3,3760	2,022	0,5989	1,35426
2100	6,00	1,947	57,4859	0,5375	3,2250	1,947	0,6036	1,27848
2150	5,84	1,897	58,1756	0,5273	3,0795	1,897	0,6160	1,18258
2200	5,84	1,873	58,8357	0,5175	3,0222	1,873	0,6196	1,14952
2250	5,76	1,800	59,4665	0,5080	2,9263	1,800	0,6150	1,12664
2300	5,68	1,752	60,0683	0,4990	2,8341	1,752	0,6182	1,08213
2350	5,52	1,705	60,6414	0,4903	2,7063	1,705	0,6300	1,00135
2400	5,52	1,659	61,1861	0,4820	2,6605	1,659	0,6234	1,00189
2450	5,36	1,568	61,7027	0,4740	2,5409	1,568	0,6170	0,97321
2500	5,28	1,568	62,1915	0,4665	2,4632	1,568	0,6364	0,89553

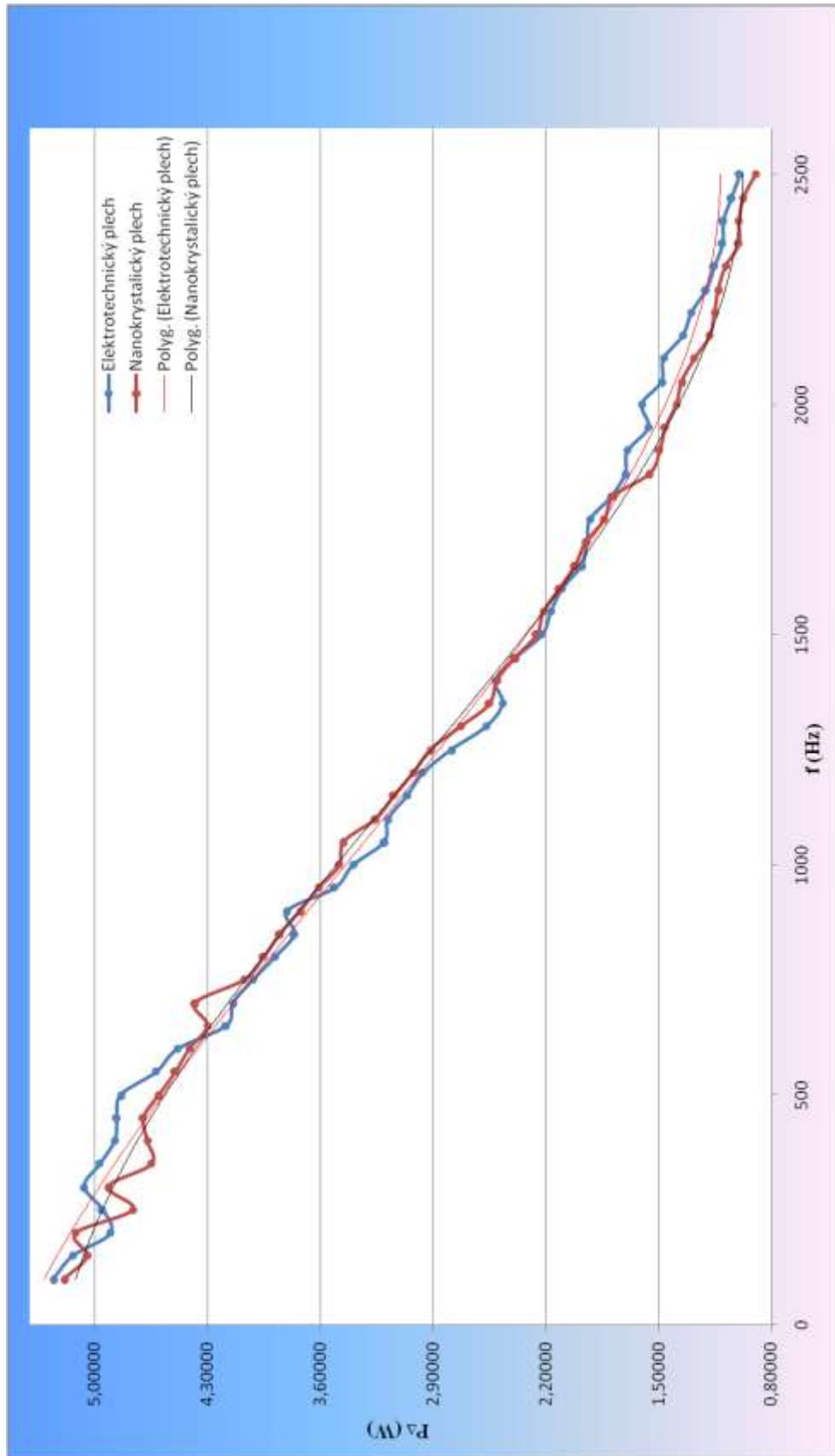
Tab. 12 Činný výkon a účinnost transformátorů při 200% zatížení pro nanokrystalický plech




Graf 6 Účinnost transformátorů při 200% zatížení



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Graf 7 Celkové ztráty při 200% zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 9. Vyhodnocení měření

Po zpracování všech naměřených hodnot byly zhotoveny ztrátové, účinnostní a napěťové charakteristiky. Ty jsou využity pro grafické znázornění naměřených hodnot, kde je dobře vidět, jak se oba magnetické obvody chovají při chodu naprázdno, jmenovitém zatížení a zatížením 200%.

Hned při prvním měření naprázdno se dostavil problém s nechtěným rušením neznámého původu. Opatřením bylo nastavení požadovaných hodnot a asi minuta pro ustálení průběhů. Toto rušení doprovázelo celé měření.

Další problémový děj nastal při měření s nižší frekvencí (50 a 100Hz). Jak vyplývá z proudových průběhů, jednalo se o přebuzené jádro, z důvodu špatně zvoleného napětí. Proto naměřené hodnoty při nižších frekvencích nebyly použity v žádné charakteristice. Jediným důvodem jejich vyřazení bylo, aby nedošlo ke zkreslení spojnice.


Odečet hodnot ztrát naprázdno, pro nanokystalický plech, při frekvenci nad 800Hz nebyl možný. Důvodem byly příliš malé hodnoty, které byly nižší než rozlišovací schopnost osciloskopů. Pro výpočet ztrát pro měření naprázdno, nebylo možno z časových posunů odečíst (velmi malý) úhel rozevření mezi proudem a napětím. Proto činný výkon je považován za přibližně stejný jako výkon zdánlivý. I přes relativně malý počet měření je jasně vidět, jak uvádějí výrobci, že materiály z nanokystalu mají opravdu ztráty naprázdno nižší o 80%. Jelikož ztráty naprázdno jsou ztráty v železe a ve vinutí (které jsou v našem případě stejné), je mnohem výhodnější použít pro jádro z nanokystalického materiálu.

Měření při jmenovitém zatížení potvrzuje, že celkové ztráty elektrotechnického plechu jsou o 26,3% vyšší než u nanokystalu při frekvenci 150Hz. Se zvyšující se frekvencí se hodnoty nanokystalu přibližují hodnotám elektrotechnického plechu. V konečné fázi při frekvenci 2500Hz je ztrátový rozdíl 9,7%.

Účinnost transformátorů se pohybuje kolem 90%, naše vzorky mají zřetelně horší vlastnosti, řádově o 10%. Nižší účinnost je pravděpodobně způsobena ručním navinutím cívek a přítomností papírového kontejneru, proto se mohou hodnoty pro stojní výrobu lišit. V obou případech účinnost se zvyšující se frekvencí roste. Zajímavým ukazatelem je, že rovnice spojnic jsou téměř shodné. Rozdílem je, že účinnost nanokystalického materiálu je vyšší o 5,5%. Při kmitočtu 1850Hz dochází u nanokystalu k bodu zvratu. U materiálu z elektrotechnického kovu až při frekvenci 2400Hz. I přes to, že nanokystalická slitina dosáhla maximální účinnosti mnohem dřív, tak má po celou dobu měření účinnost vyšší.

Co se týče napěťových charakteristik, je vidět, že nanokystalické materiály, se zvyšující se frekvencí lépe udržují napětí, ovšem rozdíl 3% při 50. harmonické je celkem zanedbatelný.


Ze zhotovených grafů pro měření při 200% zatížení je vidět, že si materiály zachovaly své dominantní vlastnosti. Ovšem změny, ve srovnání se jmenovitým zatížením, jsou pouze procentuální a rozdíl vlastností při přetížení mezi elektrotechnickým a nanokystalickým materiálem jsou max. do 3% u všech zkoumaných charakteristik. V praxi je nepřípustné dosáhnout takového, nebo podobného stavu přetížení.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Při měření bylo zjištěno několik negativně ovlivňujících skutečností, které doprovázely celý průběh měření. Tím je dáno, že se při měření vyskytly určité chyby. Ať už se jednalo o malý měřicí rozsah osciloskopů, neznámé rušivé vlivy, nebo ruční zhotovení vinutí, jsou uvedené charakteristiky orientační a při odstranění výše uvedených nežádoucích jevů se můžou charakteristiky mírně lišit. Výsledky měření hovoří o tom, že nanokrystalický materiál je vhodnější pro výrobu jader distribučních transformátorů, co se týče elektromagnetických vlastností.

Pro ověření výsledků, bylo pro každé měření vybráno 5 náhodných hodnot, které potvrdily, že naše výsledky nejsou zavádějící a vždy byly porovnatelné s hodnotami naměřenými v rámci rozlišovací schopnosti osciloskopů.

V příloze jsou pro představu vybrány některé charakteristiky vstupních a výstupních hodnot. Jednotlivé charakteristiky pro každou další vyšší harmonickou jsou součástí v elektronické podobě.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 10. Závěr

Pro vyhodnocení rozdílu mezi propustností rušení, což je vlastně schopnost přenášet 1. a vyšší harmonickou, elektrotechnického plechu a nanokrystalické slitiny, byly brány v potaz hlavně hodnoty, které byly získány při jmenovitém 100% zatížení. Vysvětlením je, že mají největší vypovídací hodnotu.

Z rozdílů celkových ztrát a účinností transformátorů je vidět, že nanokrystalické slitiny lépe přenáší rušení, ale i 1. Harmonickou, což je primární účel v síti.

Je už na zvážení každého provozovatele, jestli použije elektrotechnický plech, kde bude nižší rušení, nebo nanokrystalickou slitinu, kde bude vyšší účinnost při 50Hz.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## Seznam použitých zdrojů

- [1] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Transformátor>, 20.3.2010
- [2] <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/node8.html>, 20.3.2010
- [3] <http://www.zti.cz/EMC.htm>, 27.3.2010
- [4] <http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=295&sekce=browse>, 13.4.2010
- [5] Technická dokumentace firmy ArcelorMittal Frýdek-Místek a.s.
- [6] Faktor Zdeněk: Transformátory a cívky, Praha, technická literatura, 1999
- [7] <http://www.thermafz.cz/download.php?file=5>, 13.4.2010
- [8] <http://www.bez.sk/en/products.htm>, 13.4.2010
- [9] T. Prnka a K. Šperlink: Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje, Praha, ISBN, 2008
- [10] <http://www.thermafz.cz/download.php?file=6> 5.3.2010
- [11] Technická zpráva – Výroba toroidních vzorků
- [12] Faktor Zdeněk: Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje, Praha, technická literatura, 2002
- [13] <http://www.thermafz.cz/download.php?file=5> 5.3.2010
- [14] Měřicí protokol od firmy THERMA FM, s.r.o.


## Seznam nejdůležitějších použitých zkratek a symbolů

$\mu$	[ % ]	účinnost
$\mu_{\max}$	[ - ]	maximální permeabilita
$\mu_i$	[ - ]	počáteční permeabilita
$\mu_r$	[ - ]	relativní permeabilita
$\cos\varphi$	[ - ]	úhel mezi signály napětí a proudu
$B_S$	[ T ]	indukce nasycení
$f$	[ Hz ]	frekvence
$I_1$	[ mA ]	vstupní proud - špičkové hodnoty
$I_2$	[ mA ]	výstupní proud - špičkové hodnoty
$I_{1E}$	[ mA ]	vstupní proud - efektivní hodnoty
$I_{2E}$	[ mA ]	výstupní proud - špičkové hodnoty
$k_i$	[ - ]	poměr ztrát pro proud
$k_u$	[ - ]	poměr ztrát pro napětí
$P_{\Delta}$	[ W ]	celkové ztráty
$P_1$	[ W ]	činný výkon na vstupu
$P_2$	[ W ]	činný výkon na výstupu
$R$	[ $\Omega$ ]	odpor
$S$	[ VA ]	zdánlivý jmenovitý výkon
$S_1$	[ VA ]	vstupní zdánlivý jmenovitý výkon
$S_2$	[ VA ]	výstupní zdánlivý jmenovitý výkon
$U_1$	[ V ]	vstupní napětí - špičkové hodnoty
$U_2$	[ V ]	výstupní napětí - špičkové hodnoty
$U_{1E}$	[ V ]	vstupní napětí - efektivní hodnoty
$U_{2E}$	[ V ]	výstupní napětí - efektivní hodnoty


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## Seznam příloh


- Příloha č. 1 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 2 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 3 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 4 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 5 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 6 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 7 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 350Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 8 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 400Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 9 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 10 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 11 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 550Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 12 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 600Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 13 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 650Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 14 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 700Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 15 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 16 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 800Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 17 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 850Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 18 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 900Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 19 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 950Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 20 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 21 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1050Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 22 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 23 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 24 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 25 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 26 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 27 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1350Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 28 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1400Hz a chodu naprázdno

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 54
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	


- Příloha č. 29 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 30 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 31 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1550Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 32 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1600Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 33 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1650Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 34 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1700Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 35 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 36 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1800Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 37 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1850Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 38 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1900Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 39 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1950Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 40 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 41 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2050Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 42 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 43 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 44 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 45 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 46 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 47 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2350Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 48 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2400Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 49 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 50 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 51 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 52 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 53 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 54 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 55 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 56 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 57 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 350Hz a chodu naprázdno

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	


- Příloha č. 58 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 400Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 59 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 60 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 61 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 550Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 62 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 600Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 63 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 650Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 64 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 700Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 65 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 750Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 66 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 800Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 67 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 850Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 68 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 900Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 69 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 950Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 70 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 71 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1050Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 72 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 73 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 74 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 75 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 76 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 77 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1350Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 78 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1400Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 79 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 80 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 81 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1550Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 82 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1600Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 83 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1650Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 84 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1700Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 85 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1750Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 86 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1800Hz a chodu naprázdno

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
DIPLOMOVÁ PRÁCE		


- Příloha č. 87 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 1850Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 88 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 1900Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 89 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 1950Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 90 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2000Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 91 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2050Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 92 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2100Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 93 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2150Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 94 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2200Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 95 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2250Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 96 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2300Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 97 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2350Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 98 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2400Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 99 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2450Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 100 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2500Hz a chodu naprázdno
- Příloha č. 101 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 102 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 100Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 103 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 150Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 104 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 200Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 105 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 106 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 300Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 107 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 350Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 108 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 400Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 109 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 450Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 110 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 111 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 550Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 112 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 600Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 113 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 650Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 114 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 700Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 115 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a jmenovitém zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Příloha č. 116 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 800Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 117 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 850Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 118 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 900Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 119 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 950Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 120 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 121 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1050Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 122 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1100Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 123 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1150Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 124 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1200Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 125 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 126 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1300Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 127 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1350Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 128 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1400Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 129 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1450Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 130 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 131 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1550Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 132 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1600Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 133 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1650Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 134 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1700Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 135 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 136 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1800Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 137 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1850Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 138 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1900Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 139 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1950Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 140 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 141 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2050Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 142 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2100Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 143 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2150Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 144 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2200Hz a jmenovitém zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Příloha č. 145 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 146 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2300Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 147 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2350Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 148 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2400Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 149 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2450Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 150 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 151 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 152 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 100Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 153 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 150Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 154 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 200Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 155 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 156 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 300Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 157 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 350Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 158 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 400Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 159 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 450Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 160 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 500Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 161 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 550Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 162 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 600Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 163 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 650Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 164 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 700Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 165 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 750Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 166 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 800Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 167 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 850Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 168 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 900Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 169 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 950Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 170 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 171 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1050Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 172 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1100Hz a jmenovitém zatížení
- Příloha č. 173 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1150Hz a jmenovitém zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Příloha č. 174 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1200Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 175 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 176 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1300Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 177 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1350Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 178 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1400Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 179 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1450Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 180 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1500Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 181 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1550Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 182 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1600Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 183 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1650Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 184 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1700Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 185 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1750Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 186 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1800Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 187 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1850Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 188 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1900Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 189 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1950Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 190 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2000Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 191 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2050Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 192 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2100Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 193 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2150Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 194 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2200Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 195 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2250Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 196 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2300Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 197 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2350Hz a jmenovitém zatížení


Příloha č. 198 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2400Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 199 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2450Hz a jmenovitém zatížení


Příloha č. 200 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2500Hz a jmenovitém zatížení

Příloha č. 201 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a 200% zatížení


Příloha č. 202 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 100Hz a 200% zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	


- Příloha č. 203 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 204 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 205 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 206 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 207 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 208 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 209 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 210 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 211 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 550Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 212 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 600Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 213 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 650Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 214 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 700Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 215 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 216 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 800Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 217 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 850Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 218 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 900Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 219 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 950Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 220 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 221 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1050Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 222 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1100Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 223 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 224 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 225 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 226 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 227 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 228 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 229 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 230 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 231 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1550Hz a 200% zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

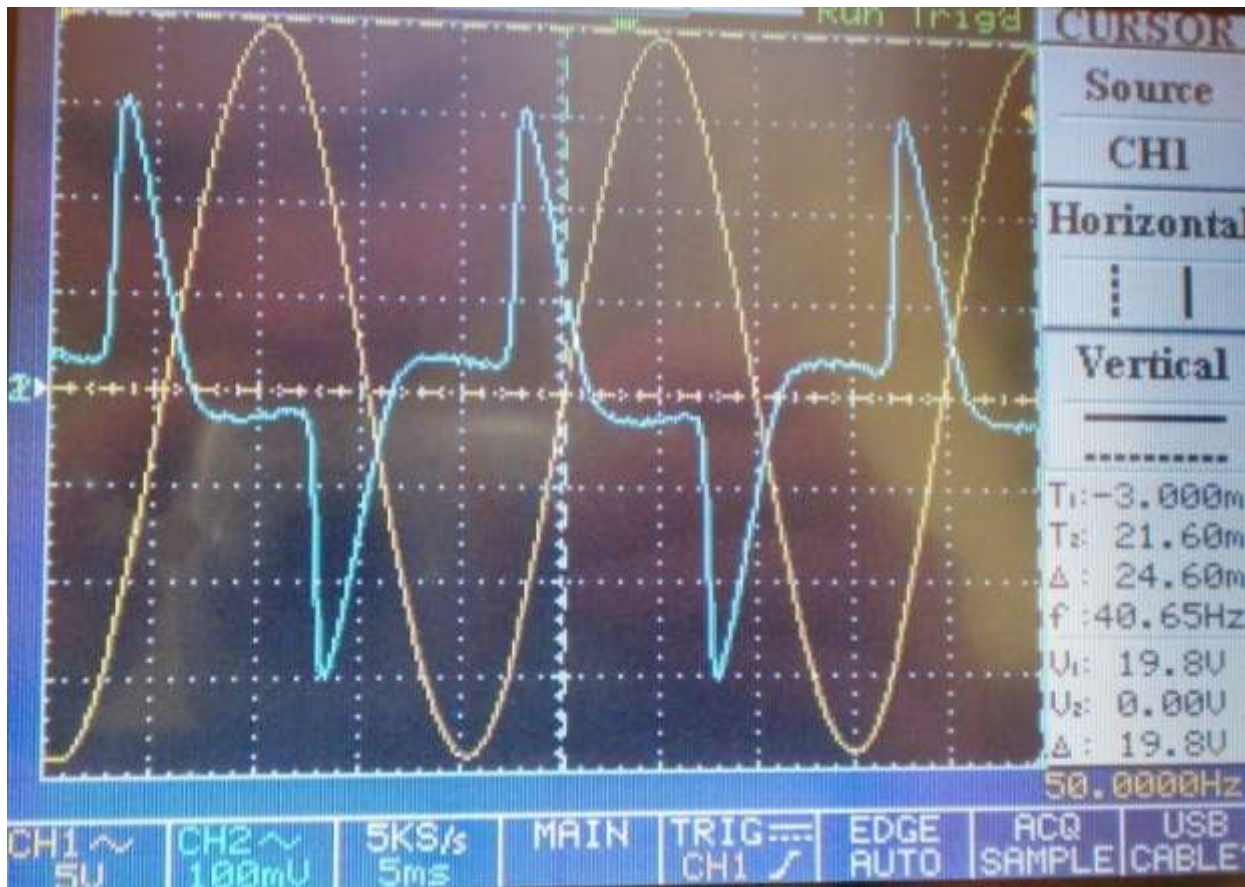
- Příloha č. 232 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1600Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 233 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1650Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 234 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1700Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 235 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 236 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1800Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 237 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1850Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 238 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1900Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 239 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1950Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 240 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 241 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2050Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 242 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2100Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 243 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 244 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 245 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 246 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 247 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 248 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 249 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 250 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 251 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 252 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 100Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 253 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 254 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 255 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 256 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 257 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 258 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 259 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 260 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 500Hz a 200% zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

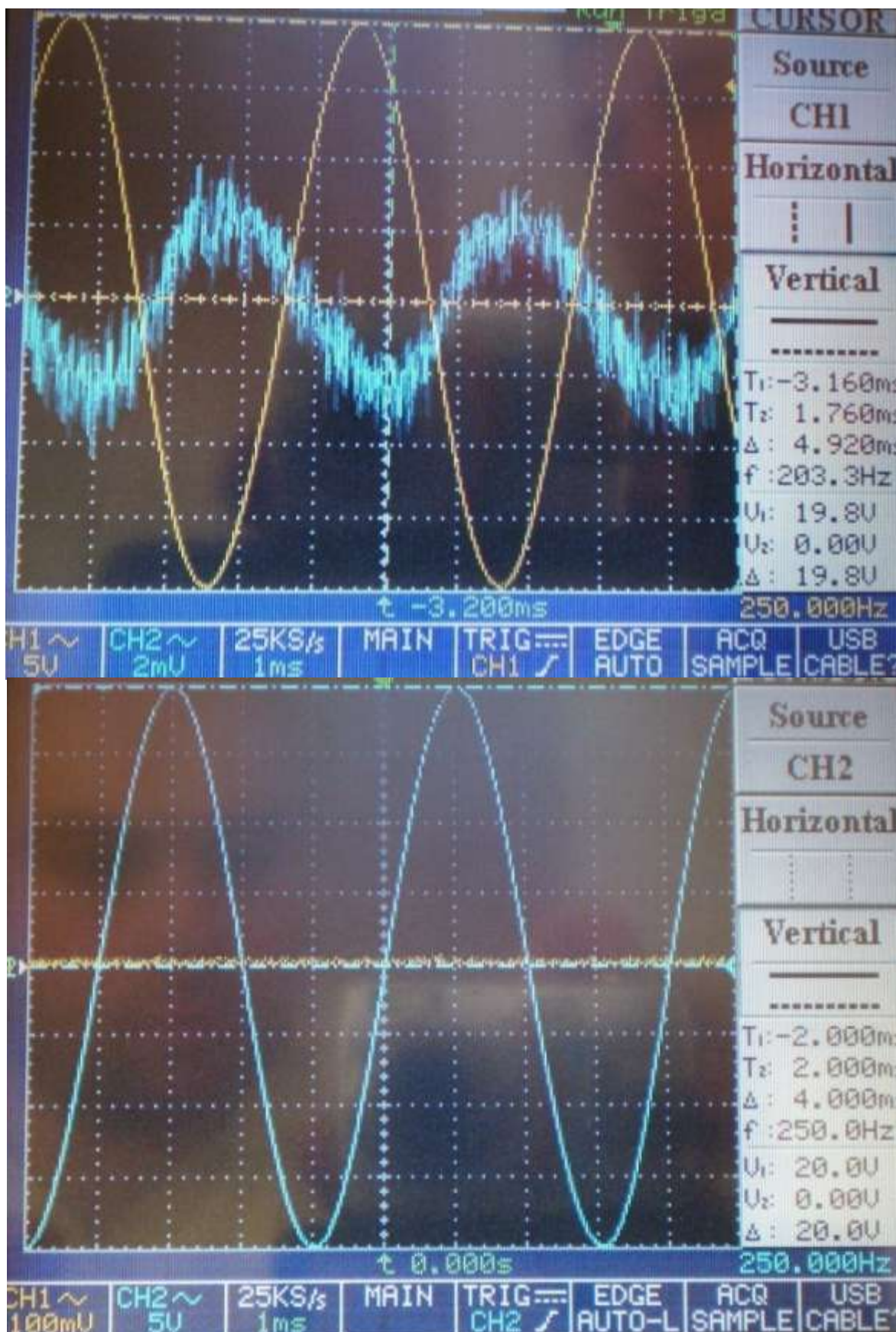
- Příloha č. 261 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 550Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 262 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 600Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 263 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 650Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 264 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 700Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 265 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 750Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 266 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 800Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 267 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 850Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 268 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 900Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 269 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 950Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 270 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 271 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1050Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 272 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1100Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 273 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 274 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 275 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 276 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 277 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 278 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 279 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 280 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1500Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 281 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1550Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 282 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1600Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 283 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1650Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 284 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1700Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 285 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1750Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 286 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1800Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 287 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1850Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 288 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1900Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 289 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1950Hz a 200% zatížení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 63
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

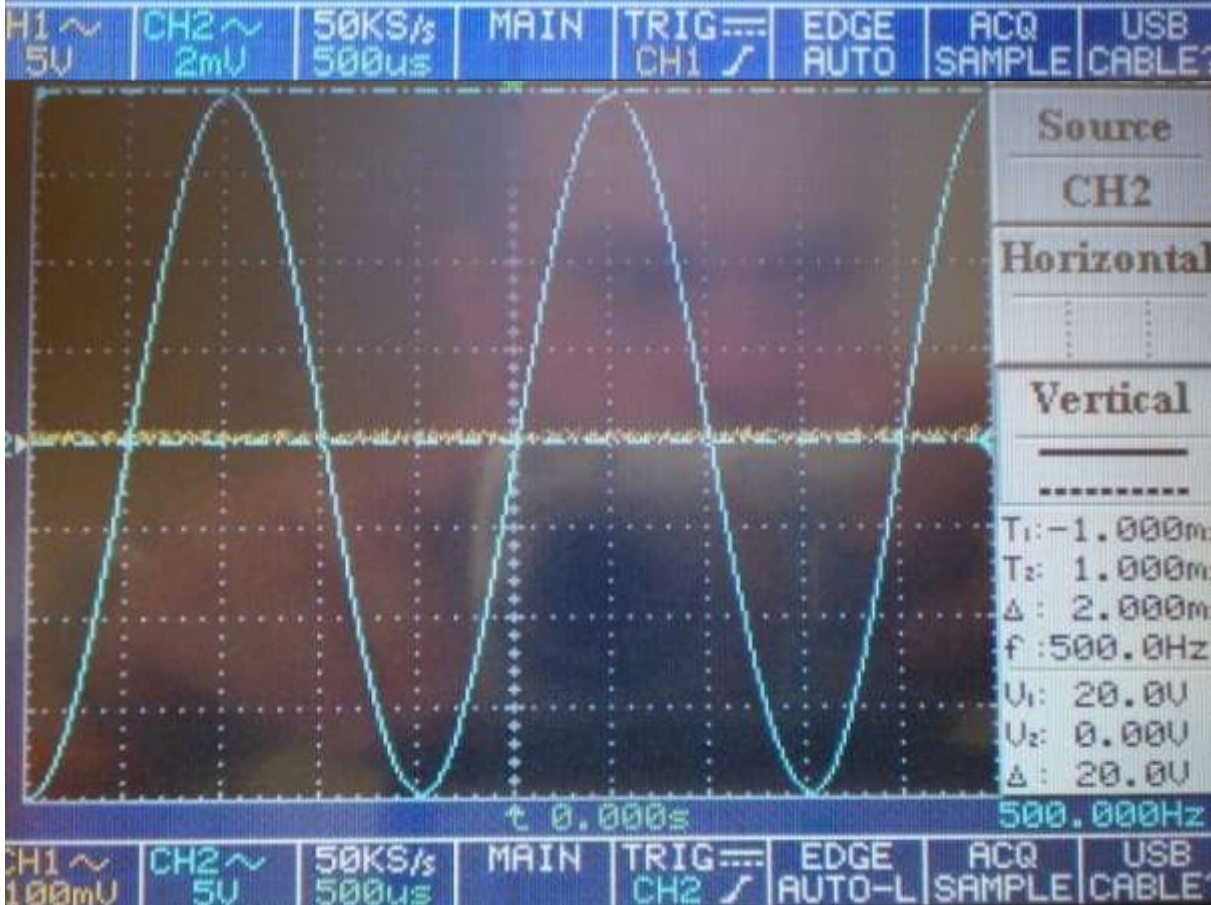
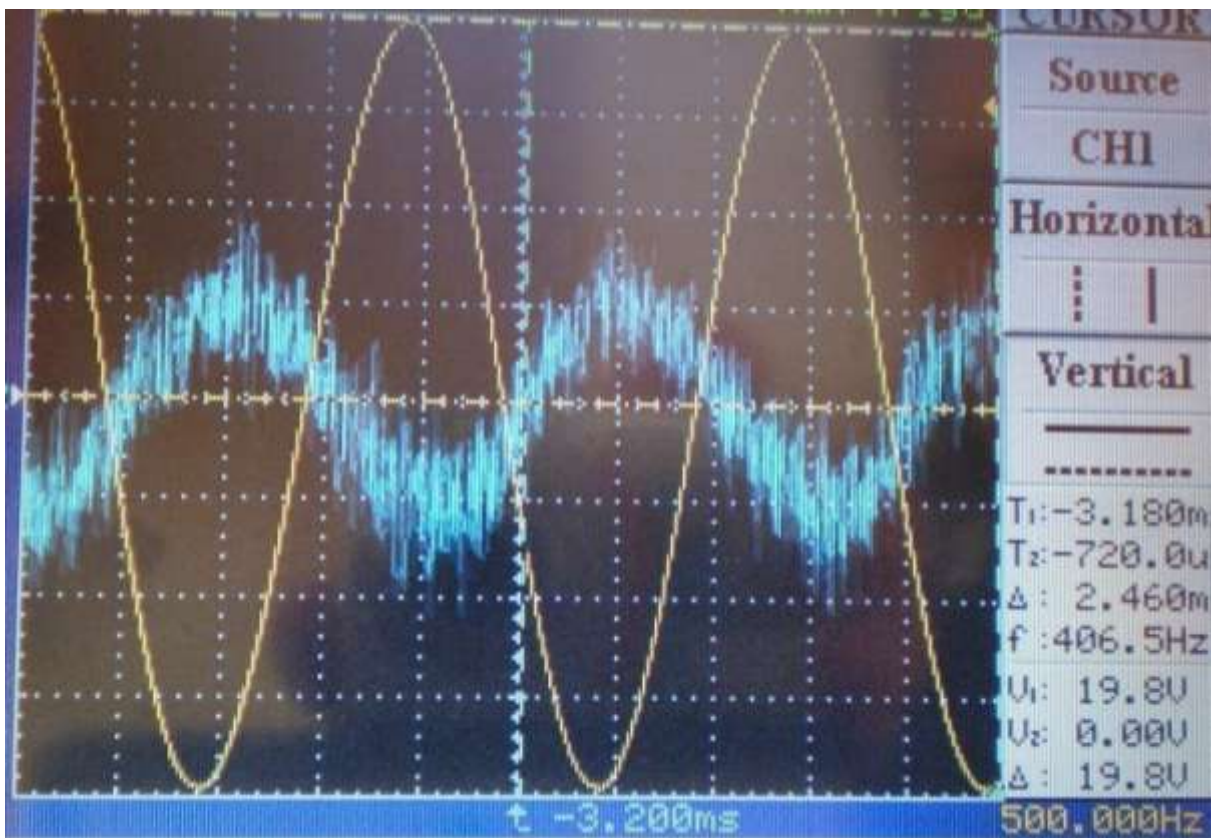
- Příloha č. 290 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2000Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 291 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2050Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 292 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2100Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 293 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2150Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 294 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2200Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 295 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2250Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 296 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2300Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 297 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2350Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 298 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2400Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 299 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2450Hz a 200% zatížení
- Příloha č. 300 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2500Hz a 200% zatížení



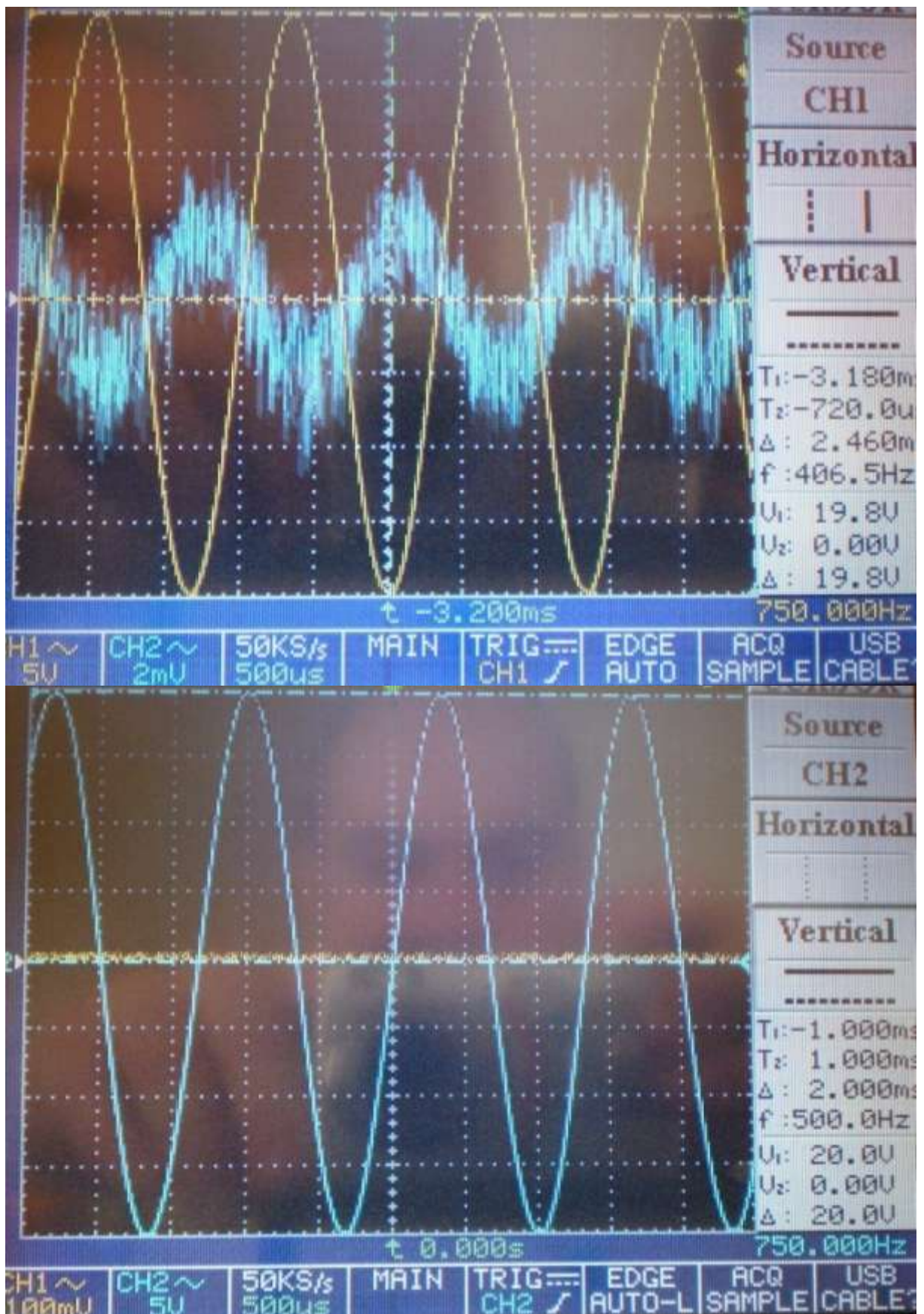
Příloha č. 1 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a chodu naprázdno



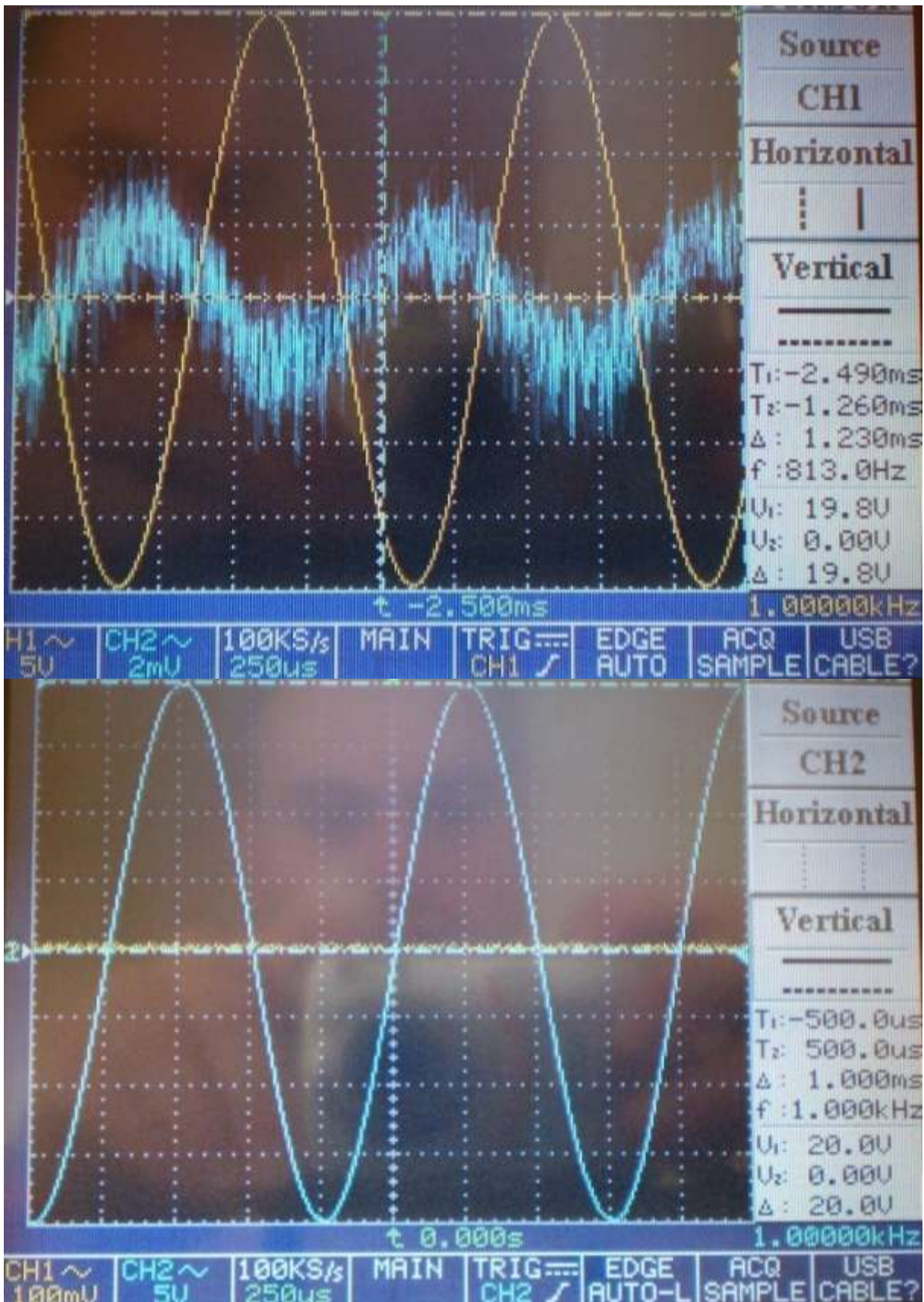
Příloha č. 5 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a chodu naprázdno



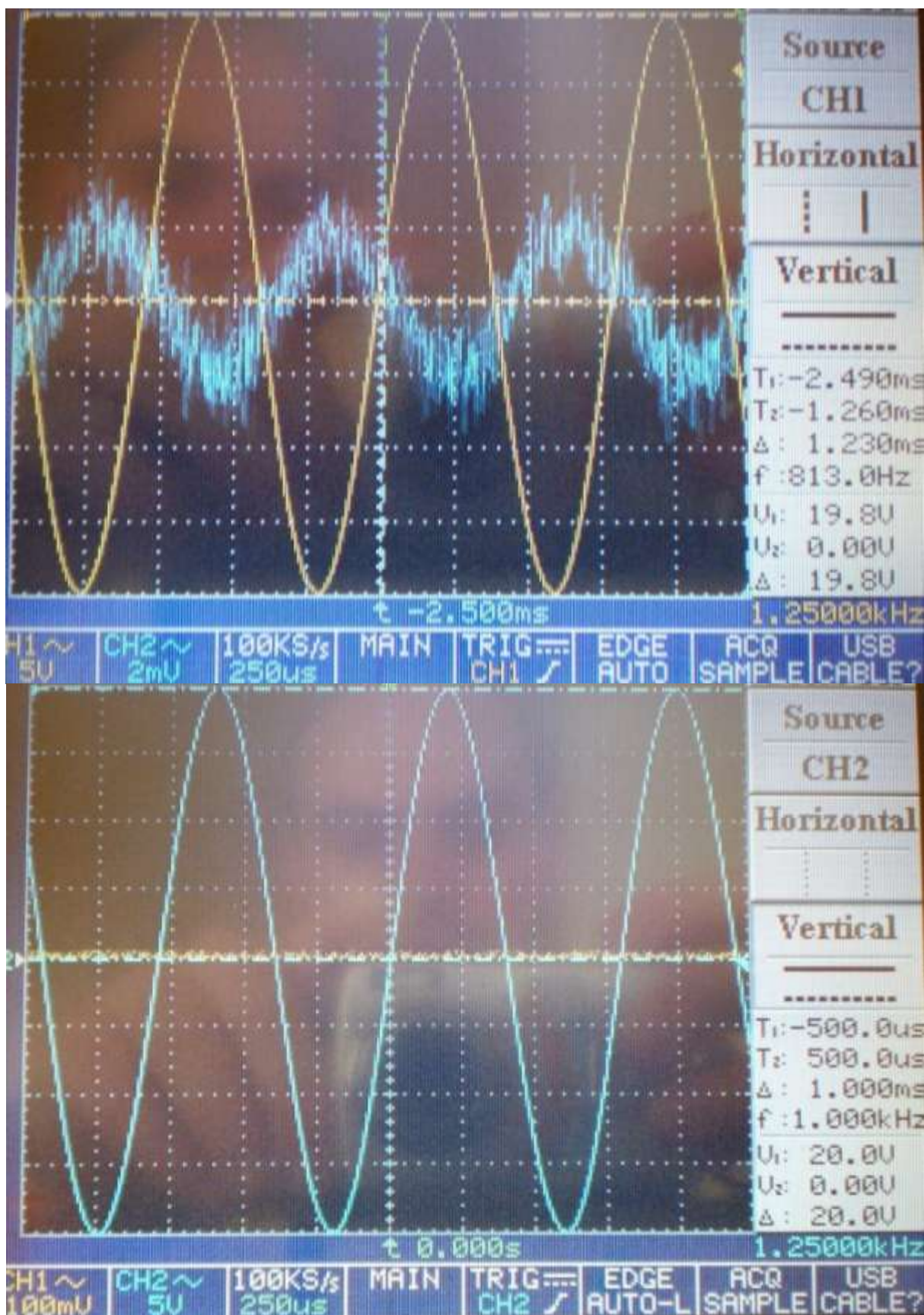
Příloha č. 10 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a chodu naprázdno



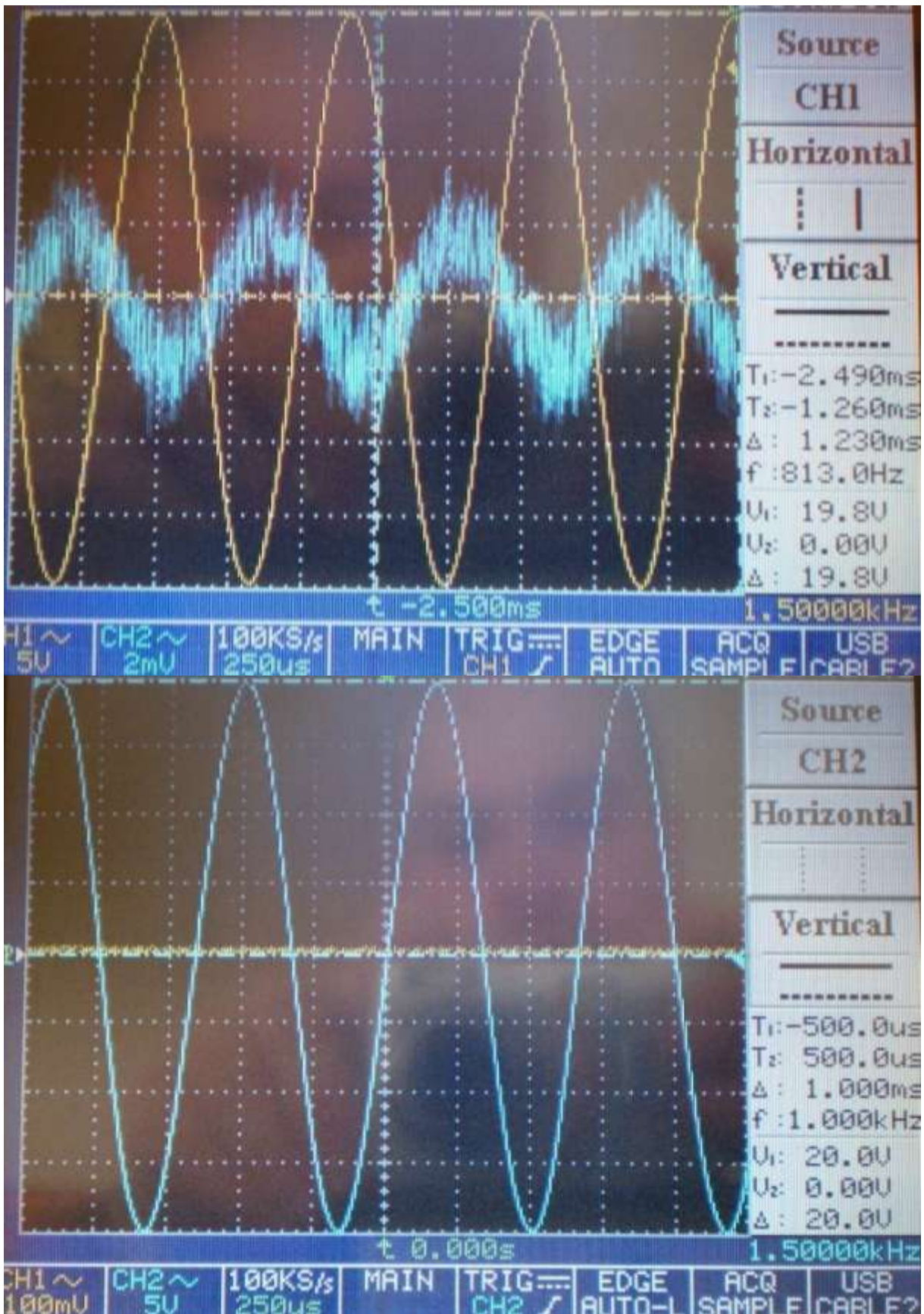
Příloha č. 15 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a chodu naprázdno



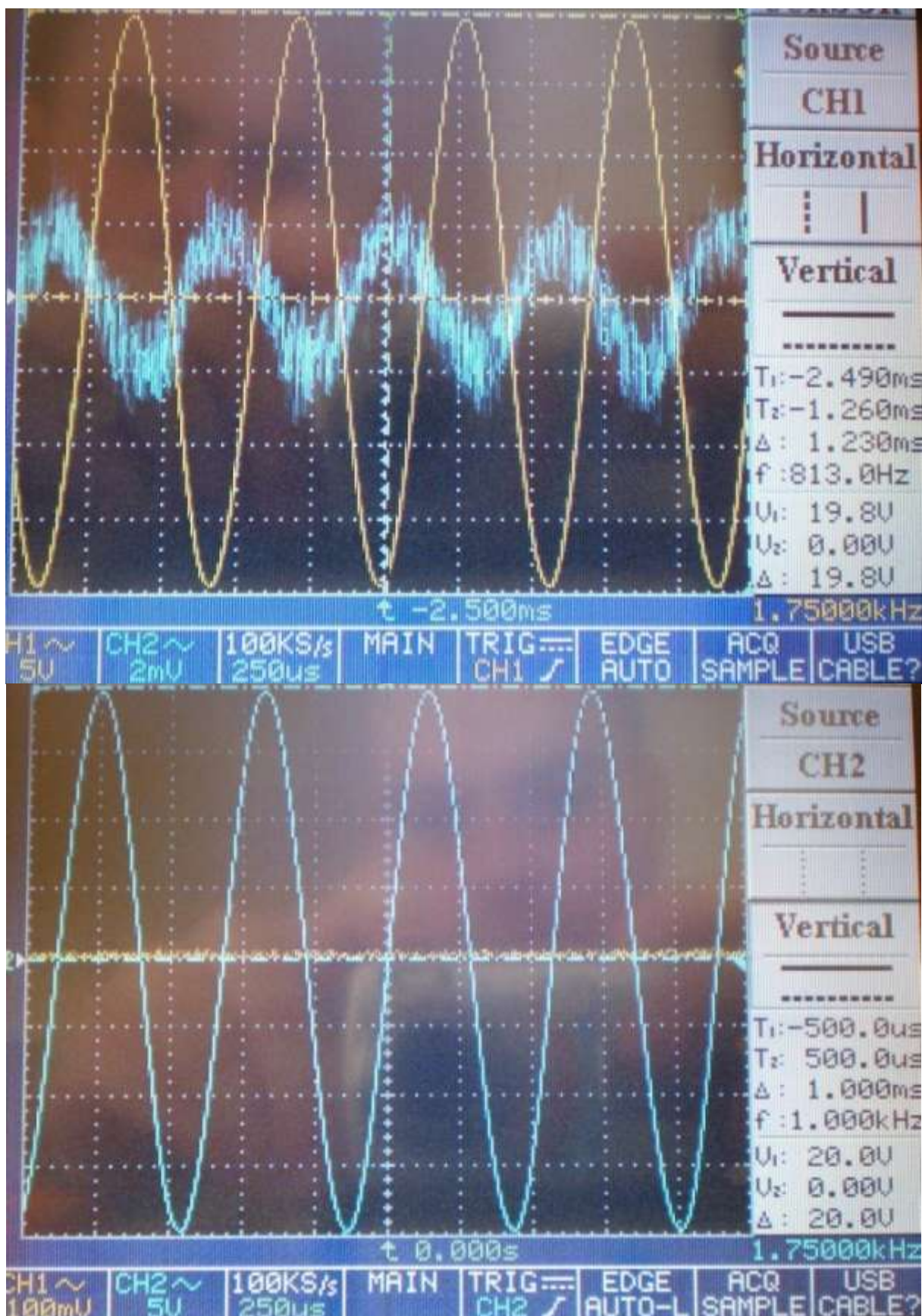
Příloha č. 20 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a chodu naprázdno



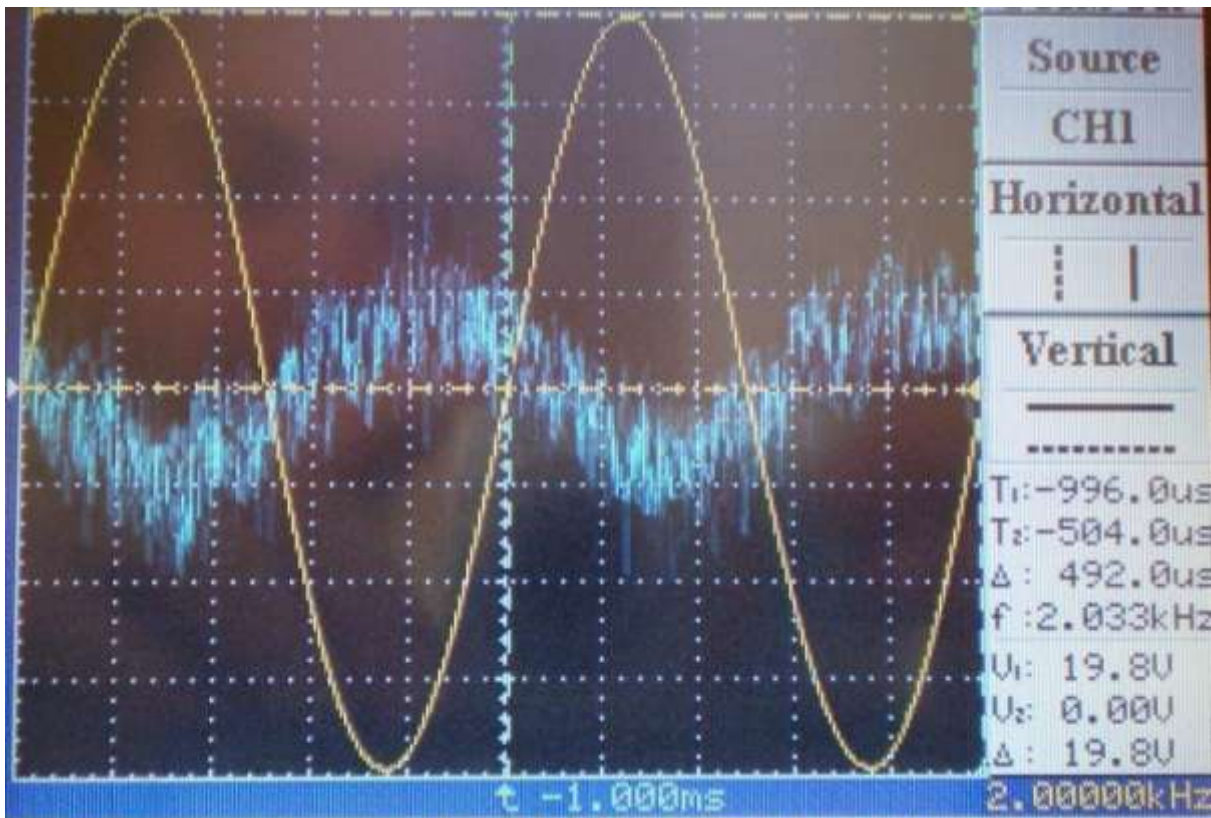
Příloha č. 25 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a chodu naprázdno



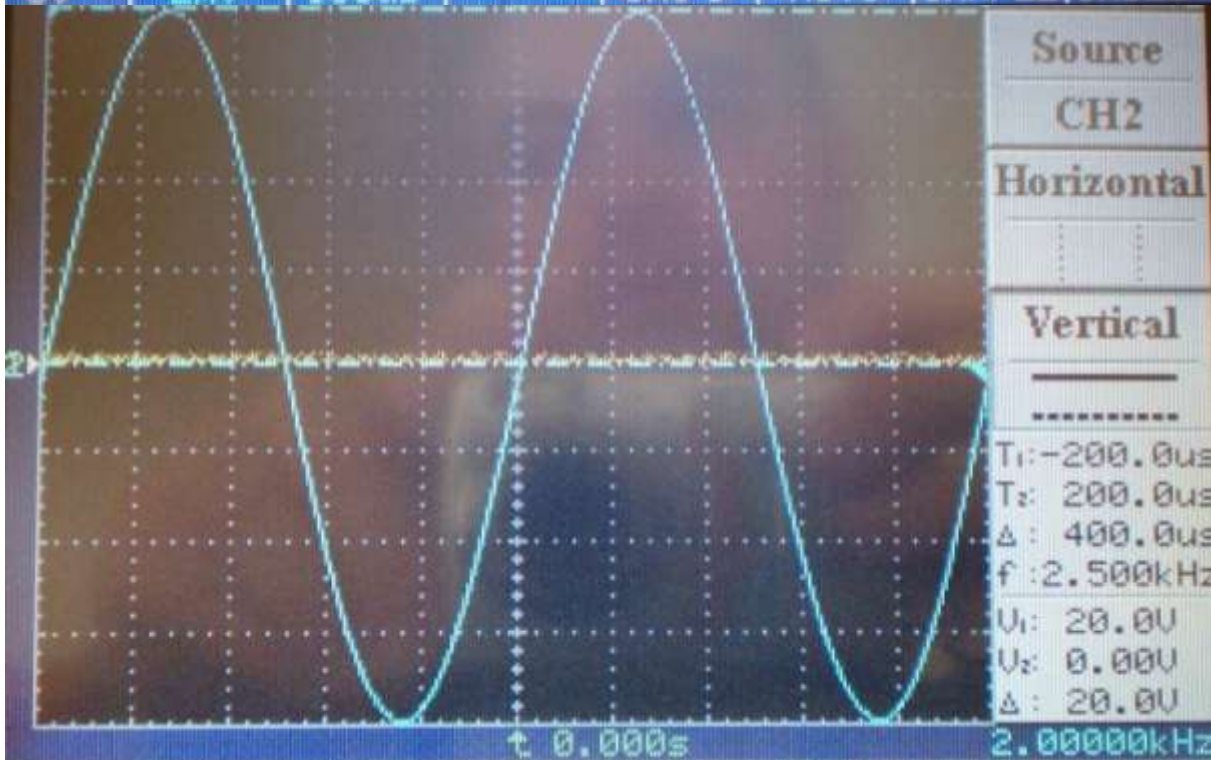
Příloha č. 30 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a chodu naprázdno



Příloha č. 35 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a chodu naprázdno

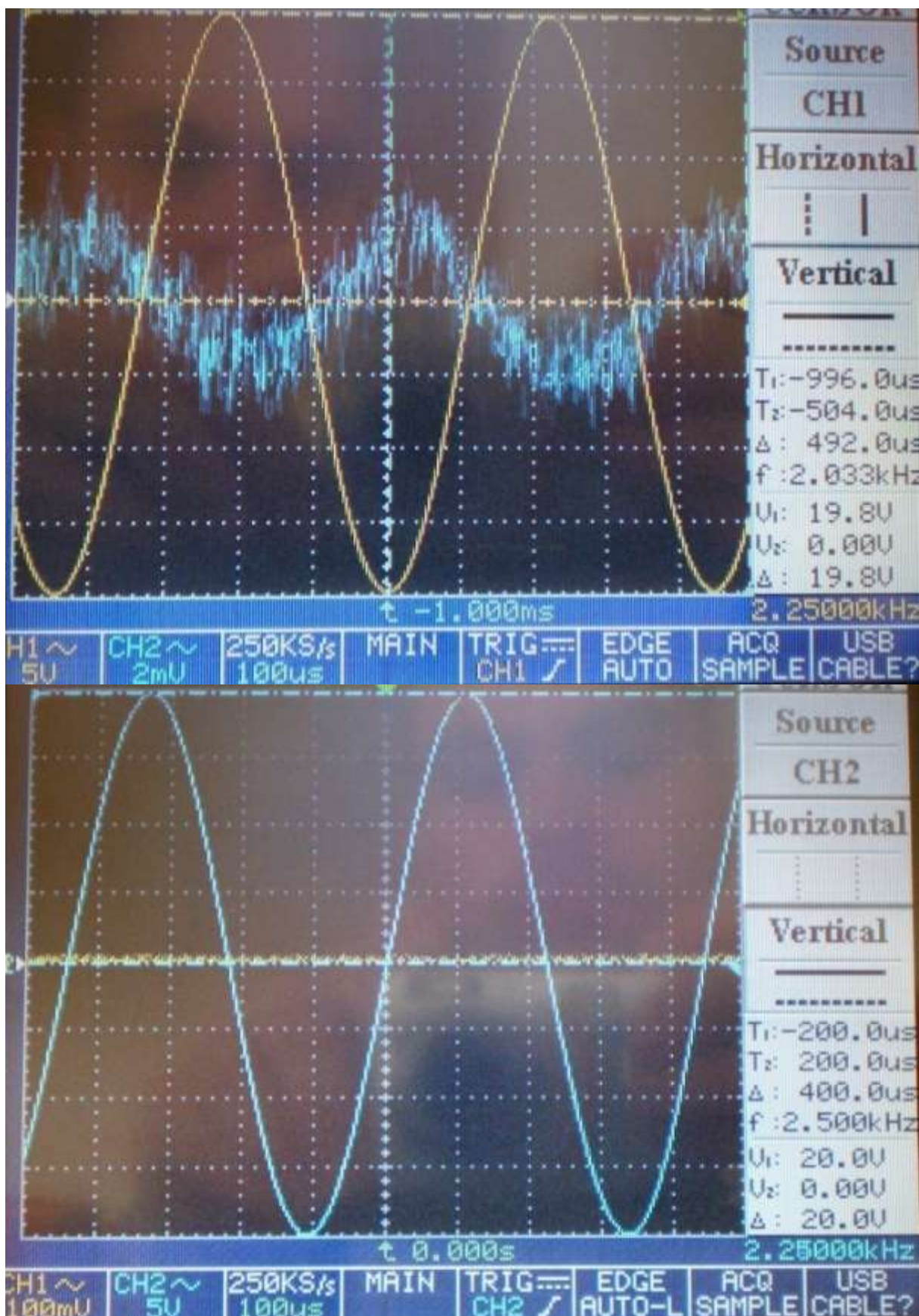


CH1 ~ 5V  
 CH2 ~ 2mV  
 250KS/s  
 MAIN TRIG CH1  
 EDGE AUTO  
 ACQ SAMPLE  
 USB CABLE?

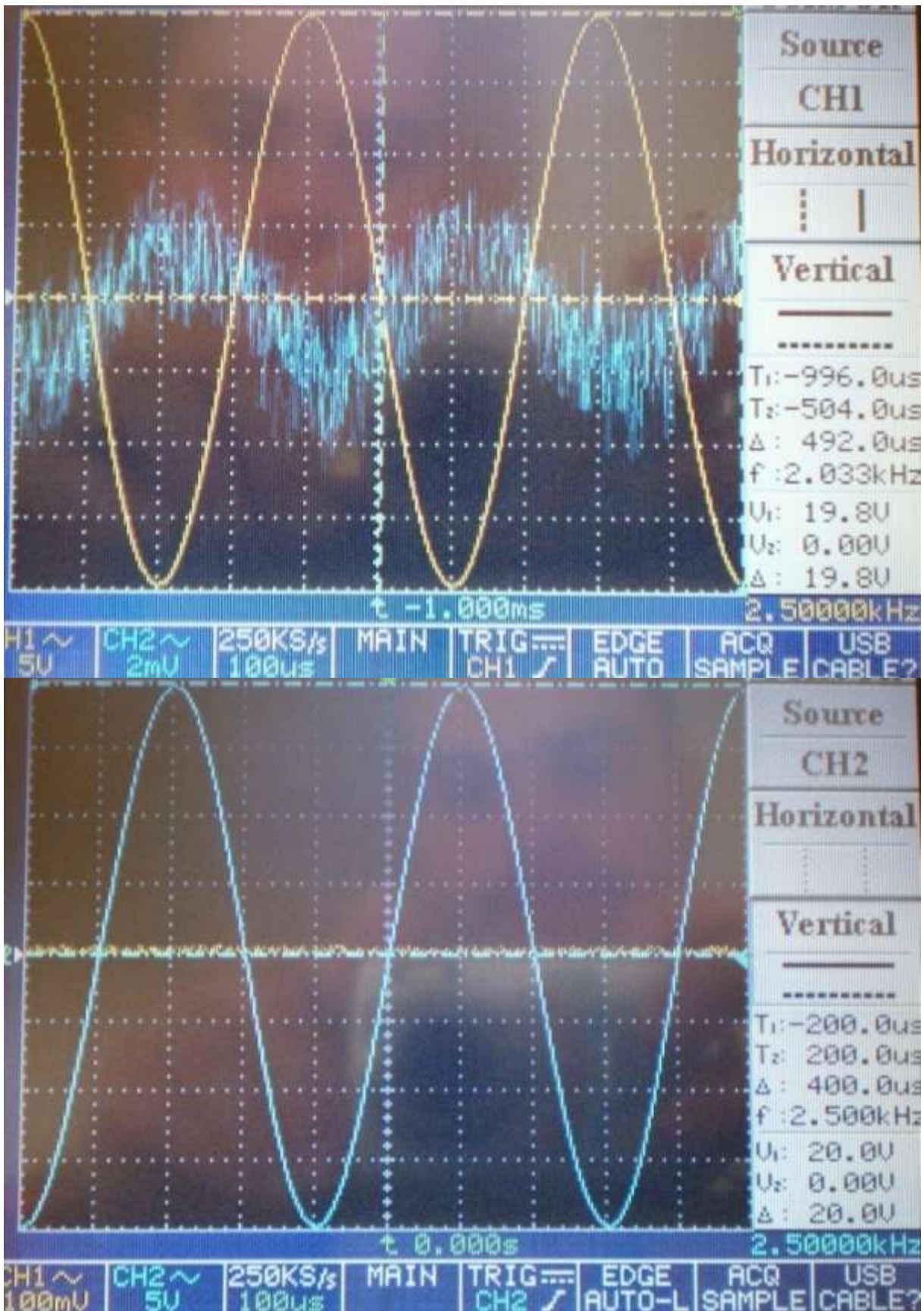


CH1 ~ 100mV  
 CH2 ~ 5V  
 250KS/s  
 MAIN TRIG CH2  
 EDGE AUTO-L  
 ACQ SAMPLE  
 USB CABLE?

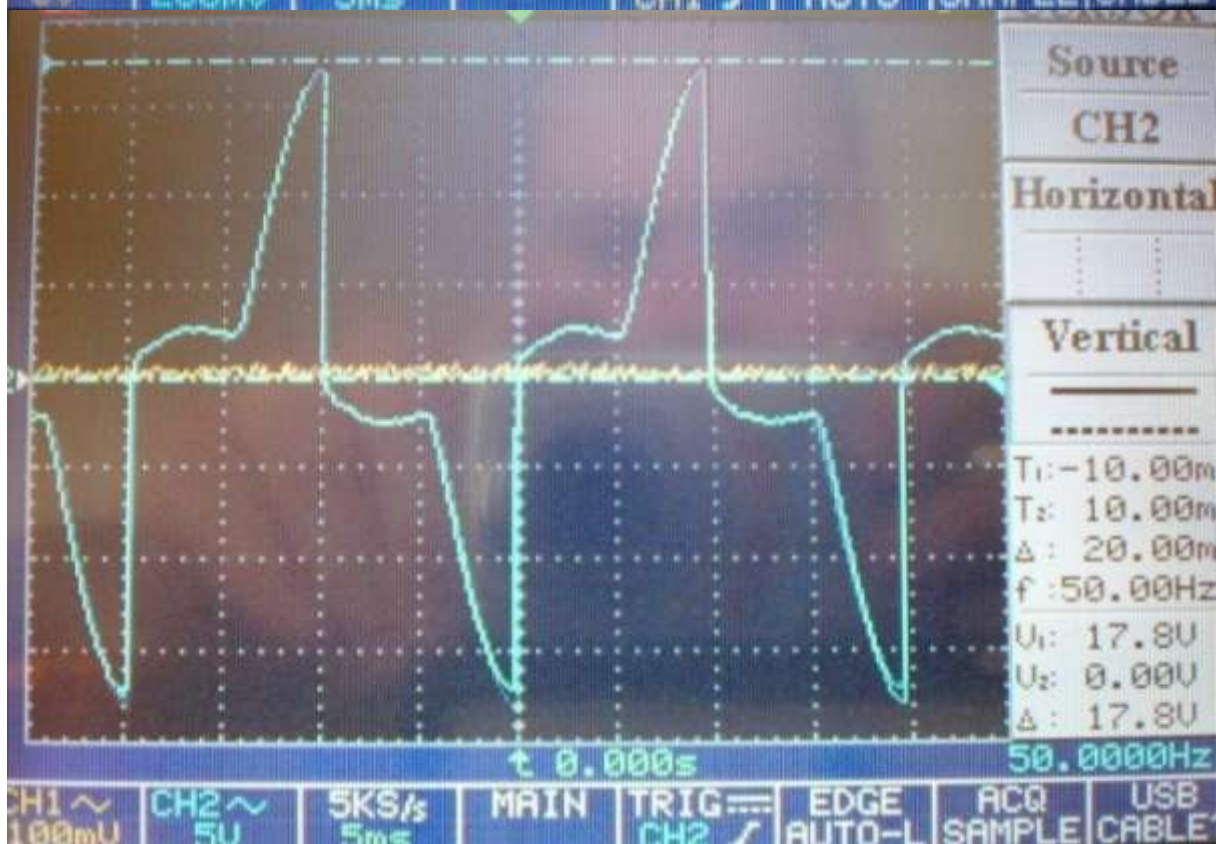
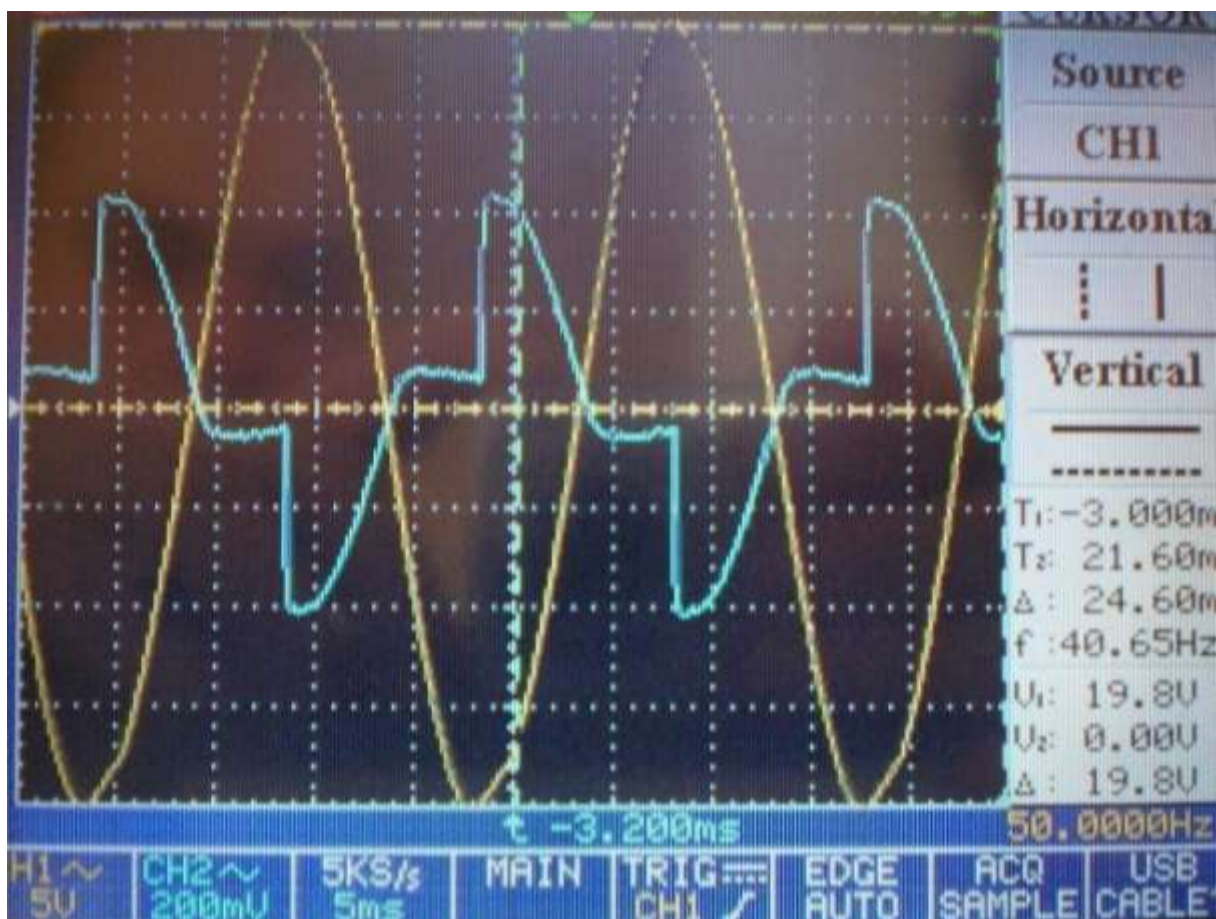
Příloha č. 40 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a chodu naprázdno



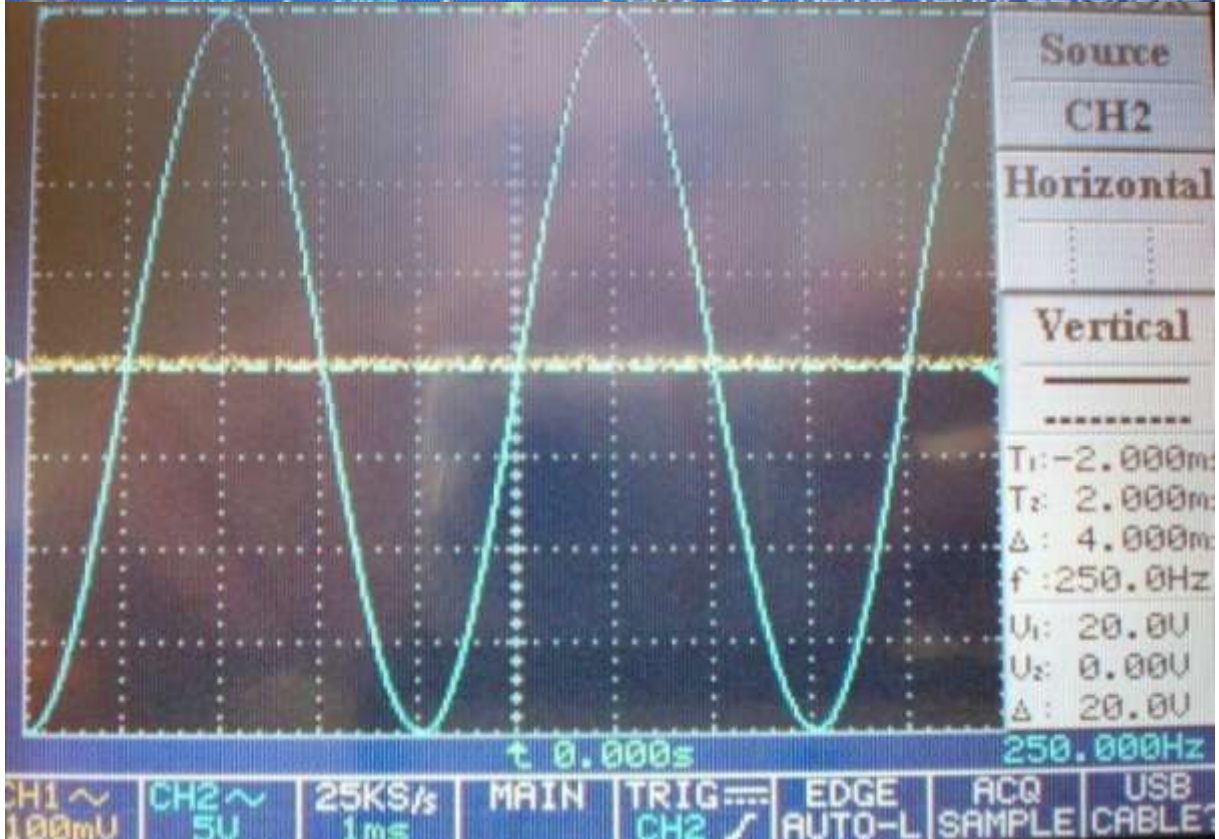
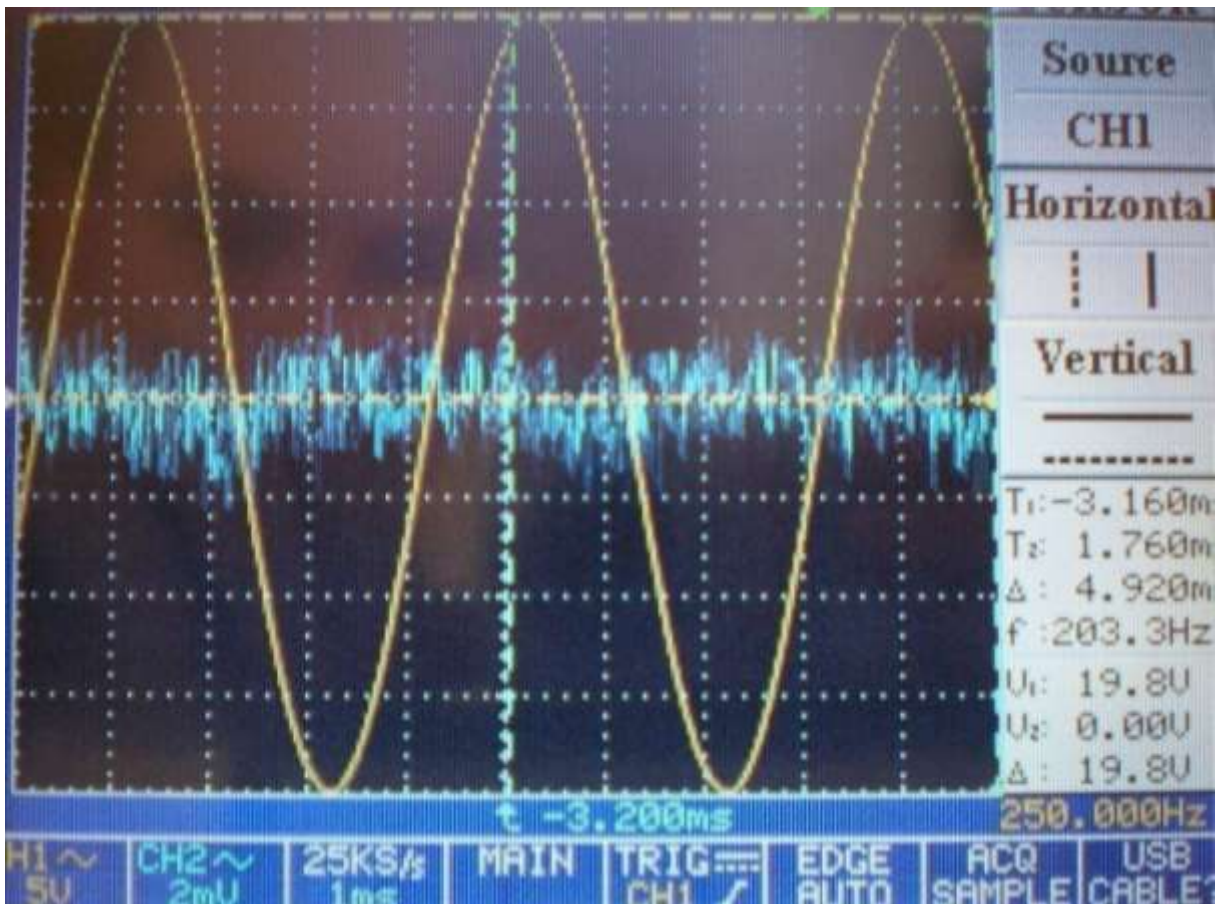
Příloha č. 45 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a chodu naprázdno



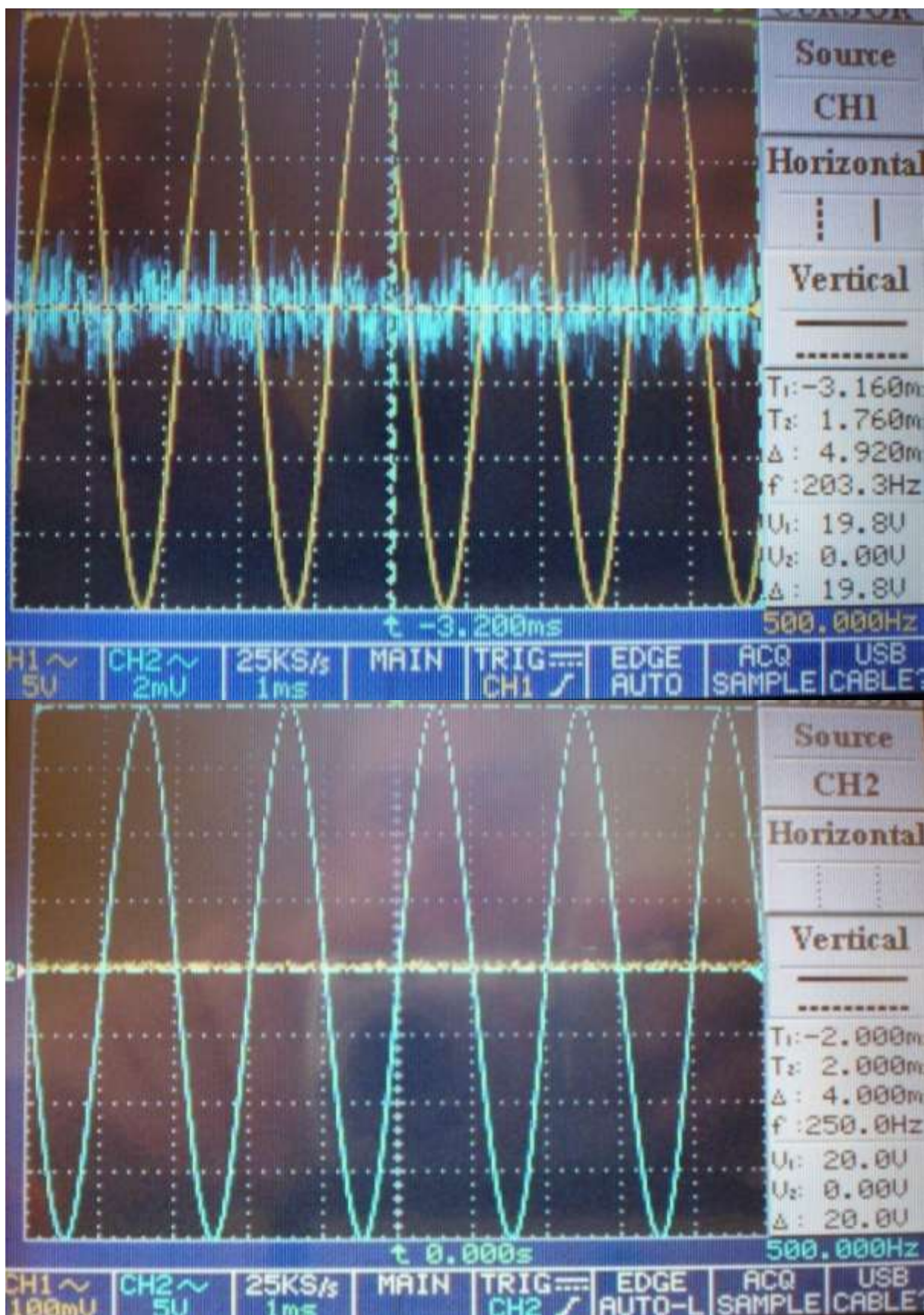
Příloha č. 50 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a chodu naprázdno



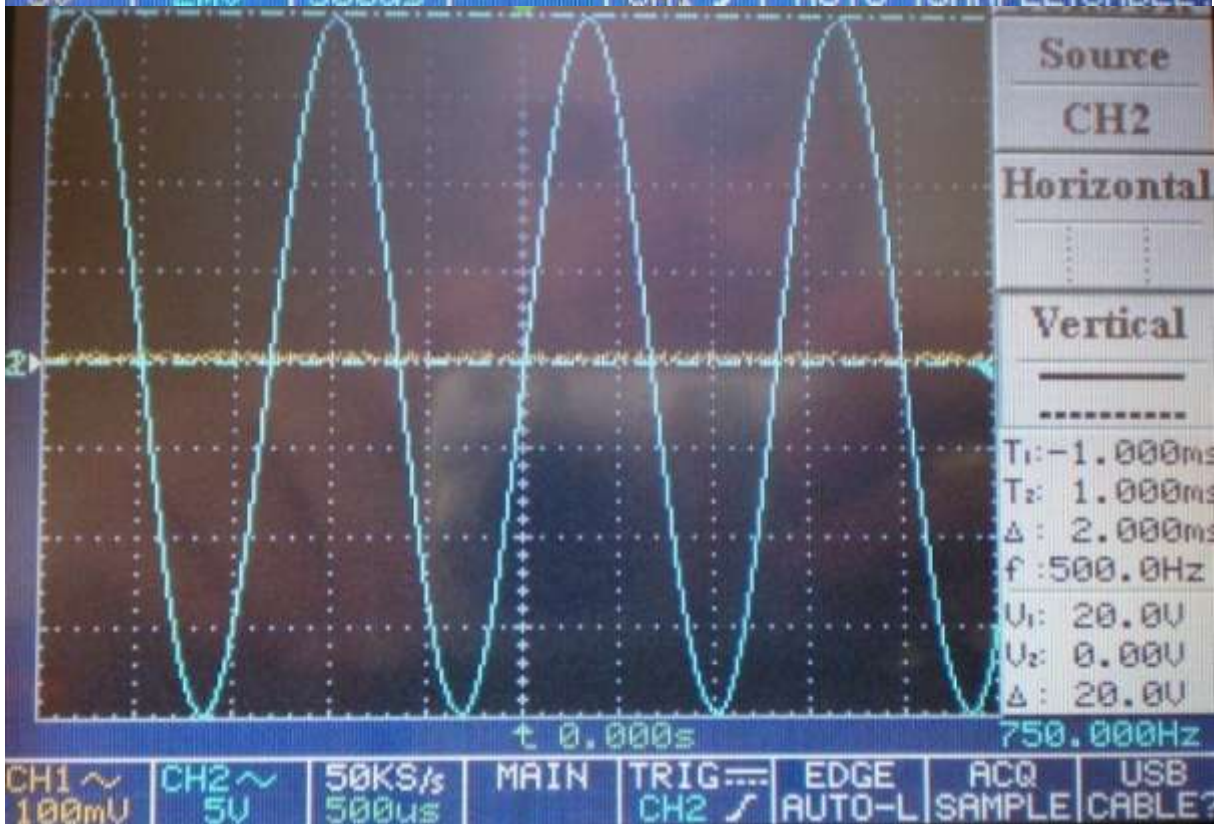
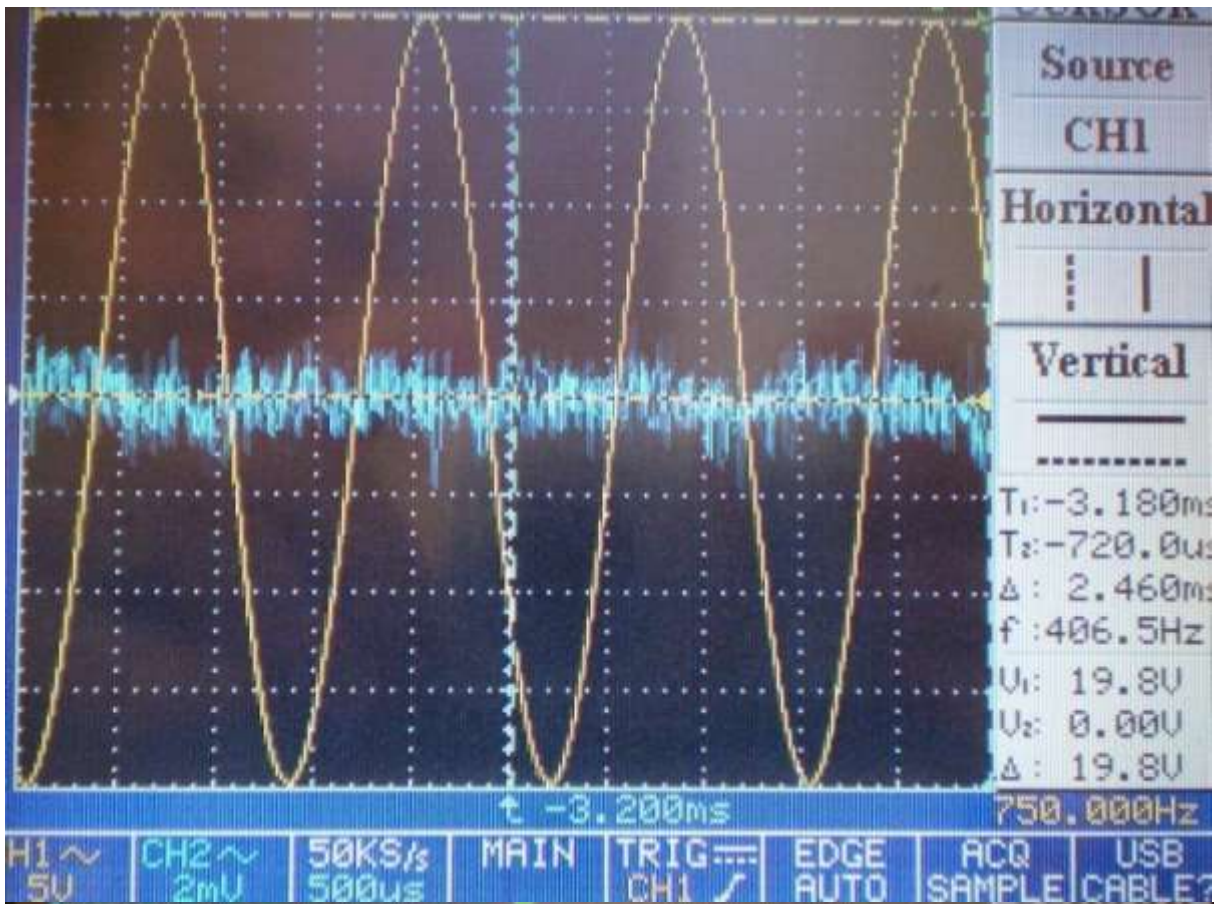
Příloha č. 51 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a chodu naprázdno



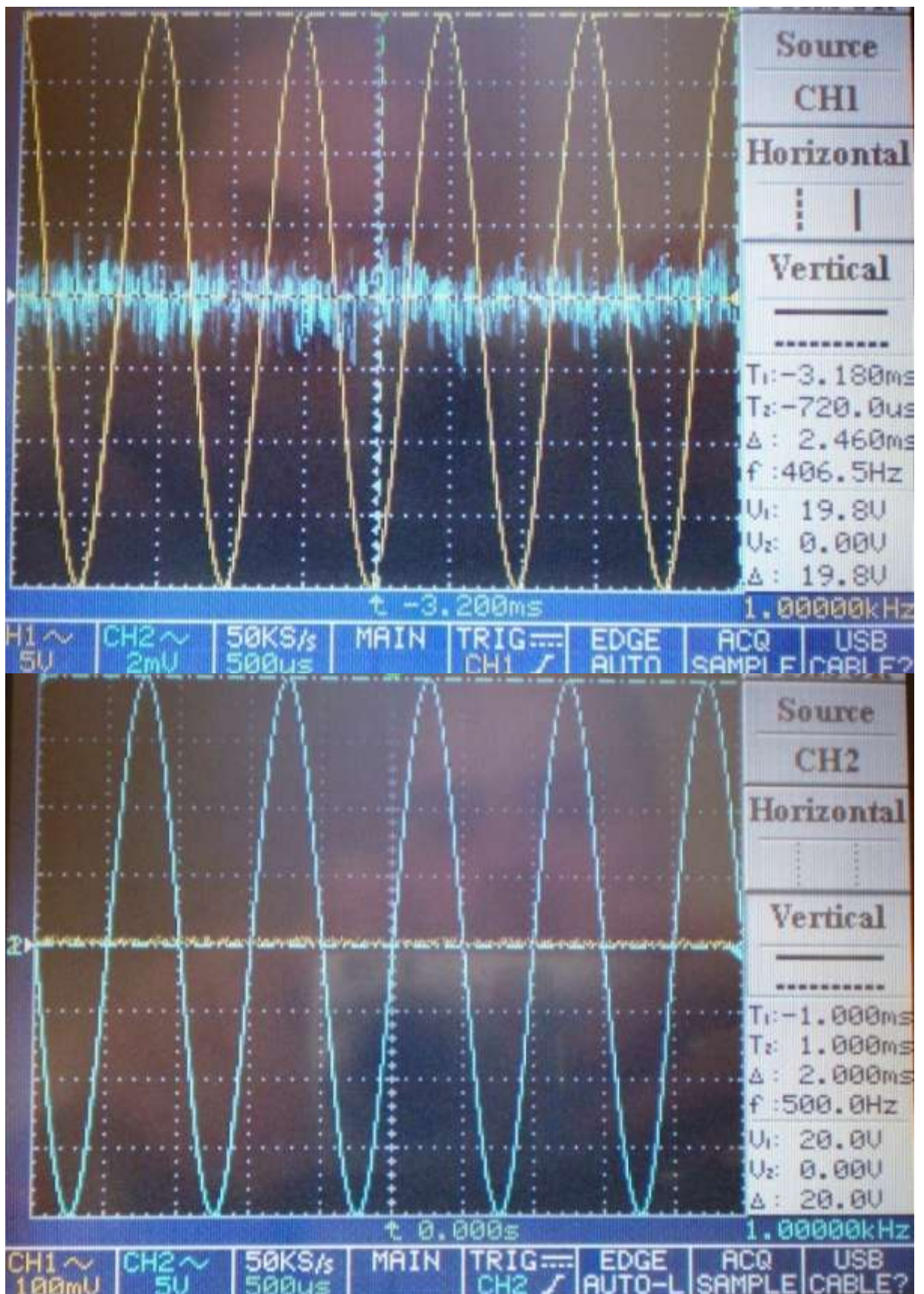
Příloha č. 55 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a chodu naprázdno



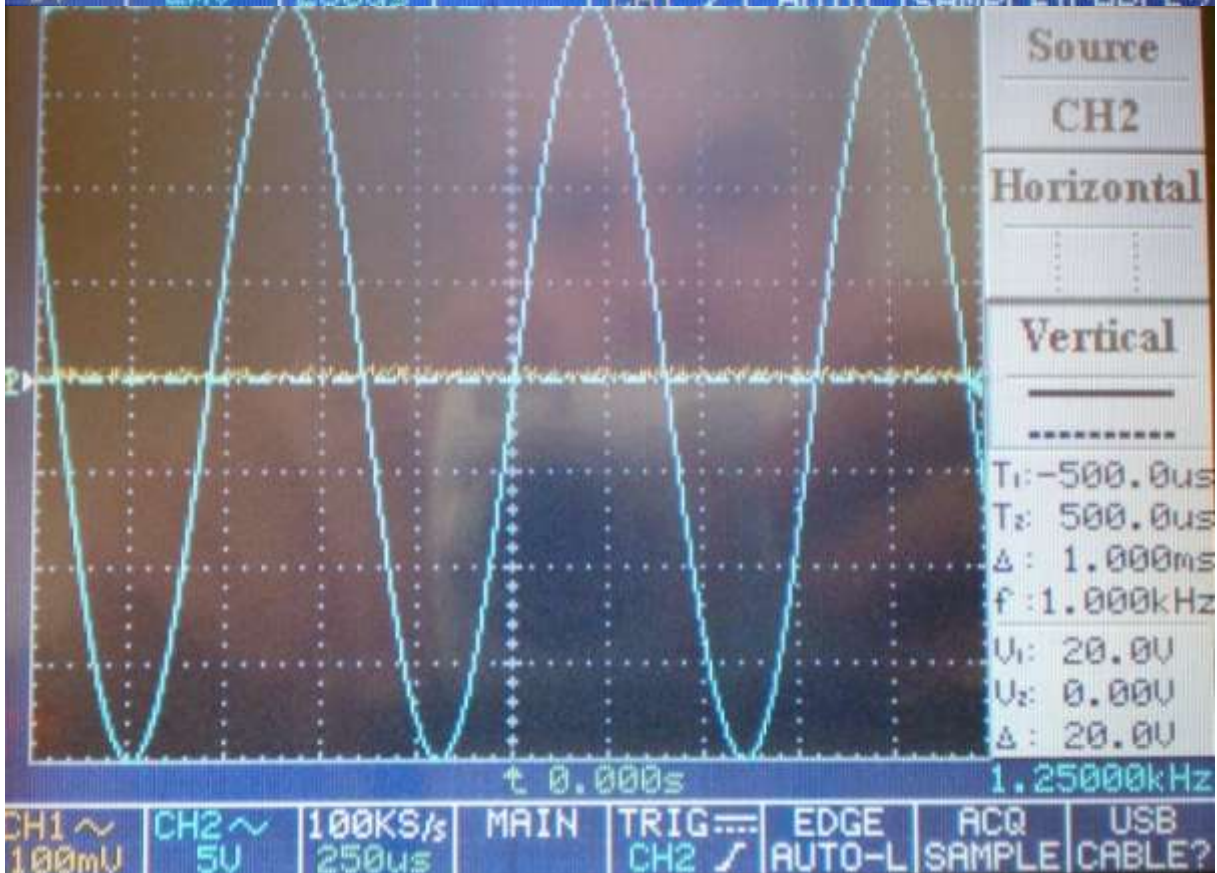
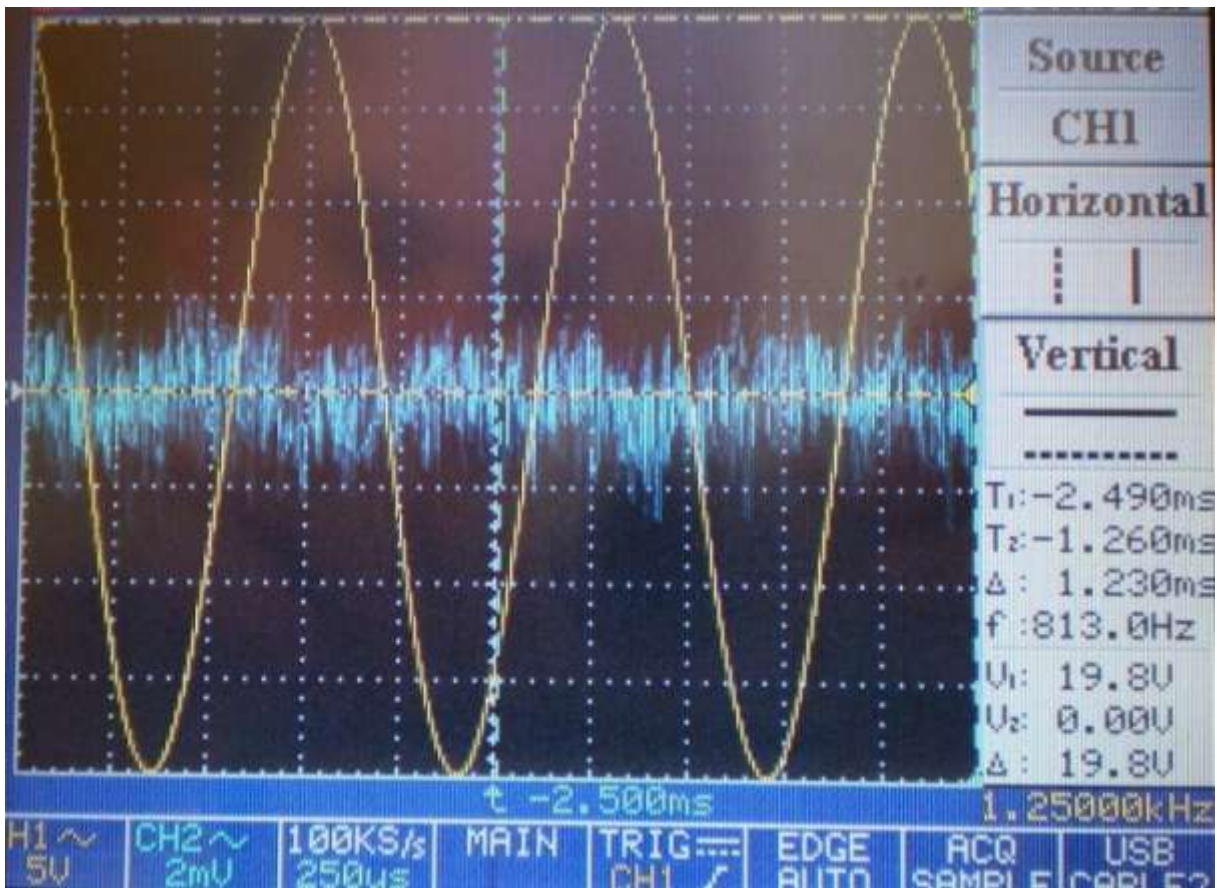
Příloha č. 60 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 500Hz a chodu naprázdno



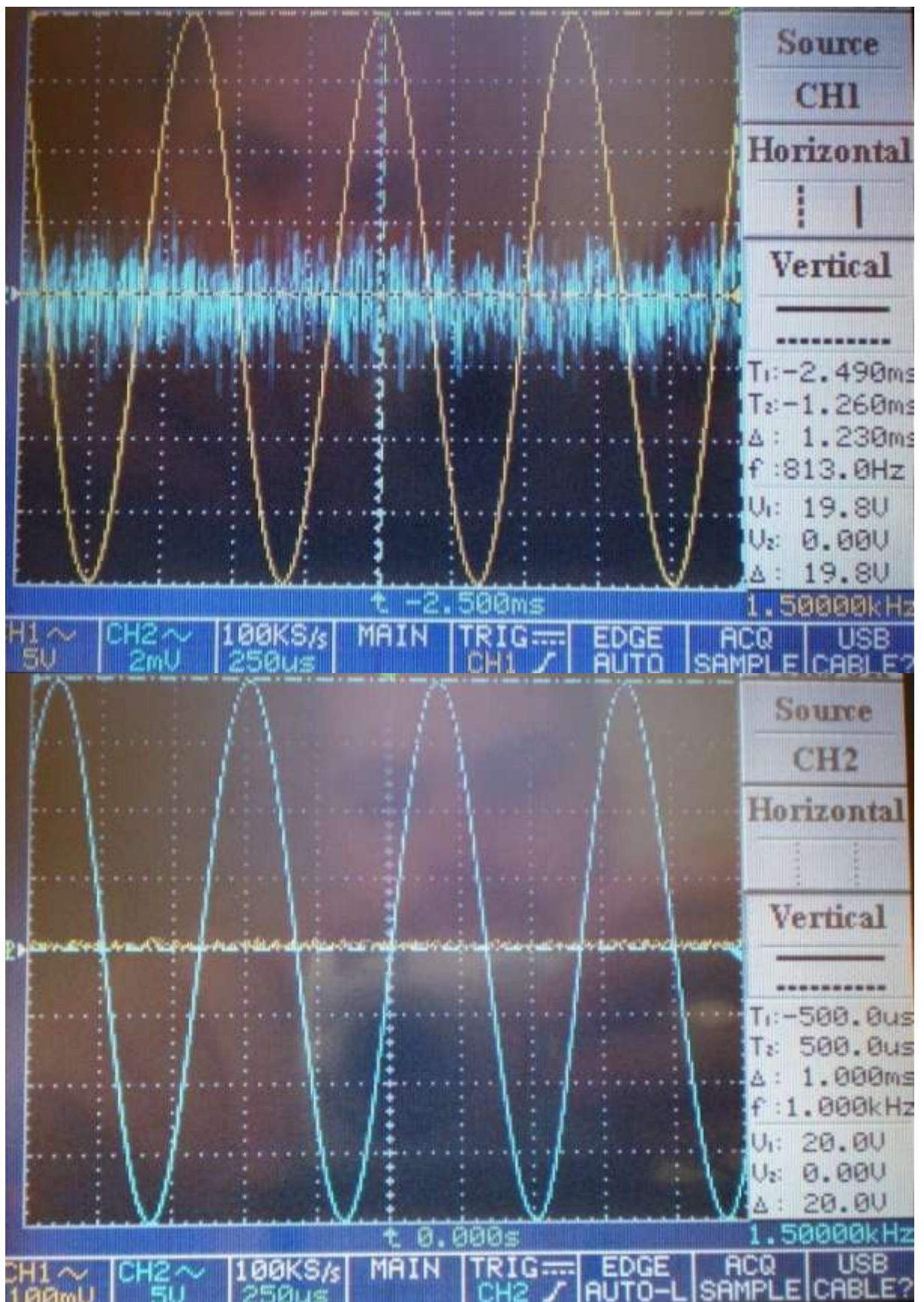
Příloha č. 65 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 750Hz a chodu naprázdno



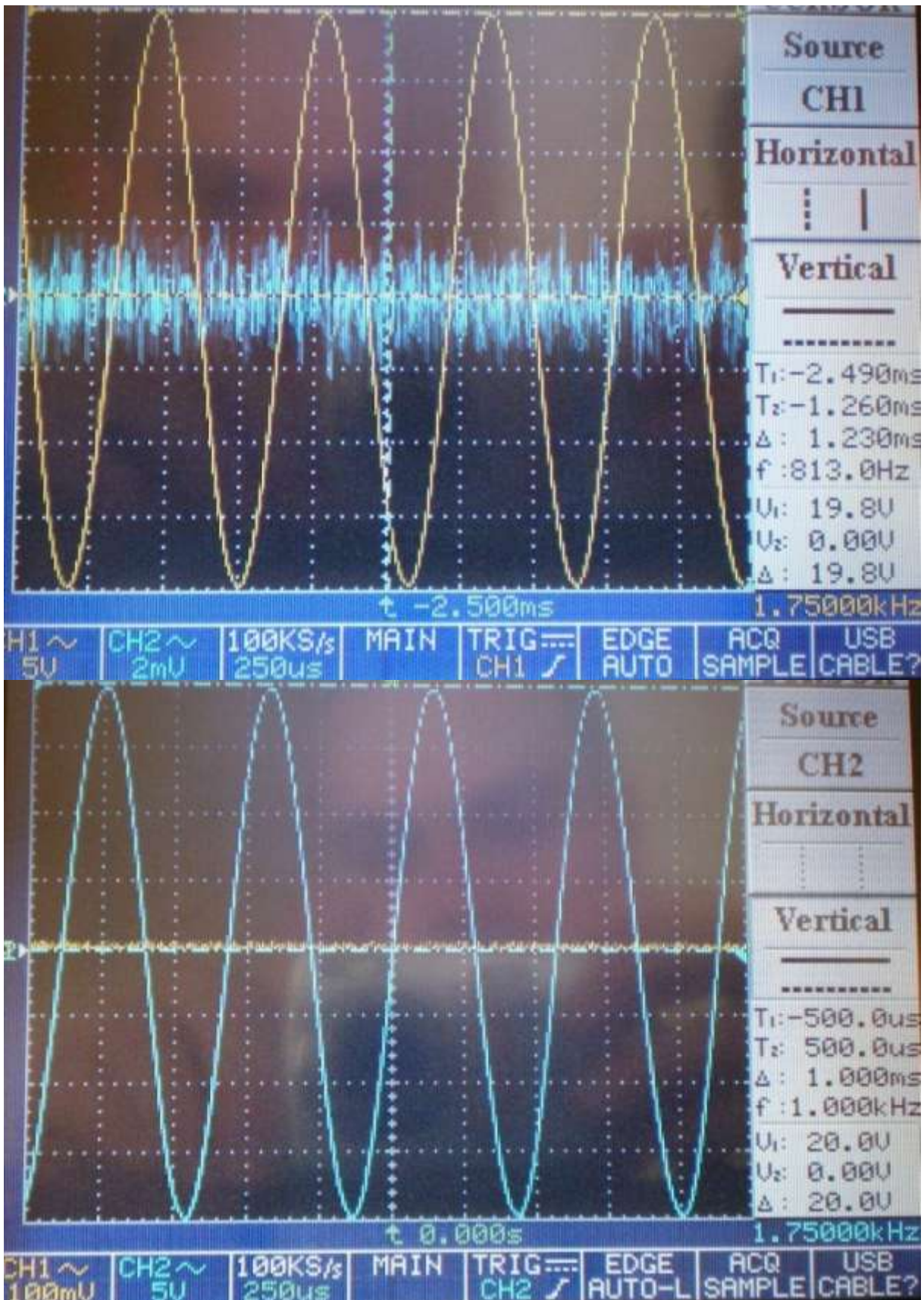
Příloha č. 70 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a chodu naprázdno



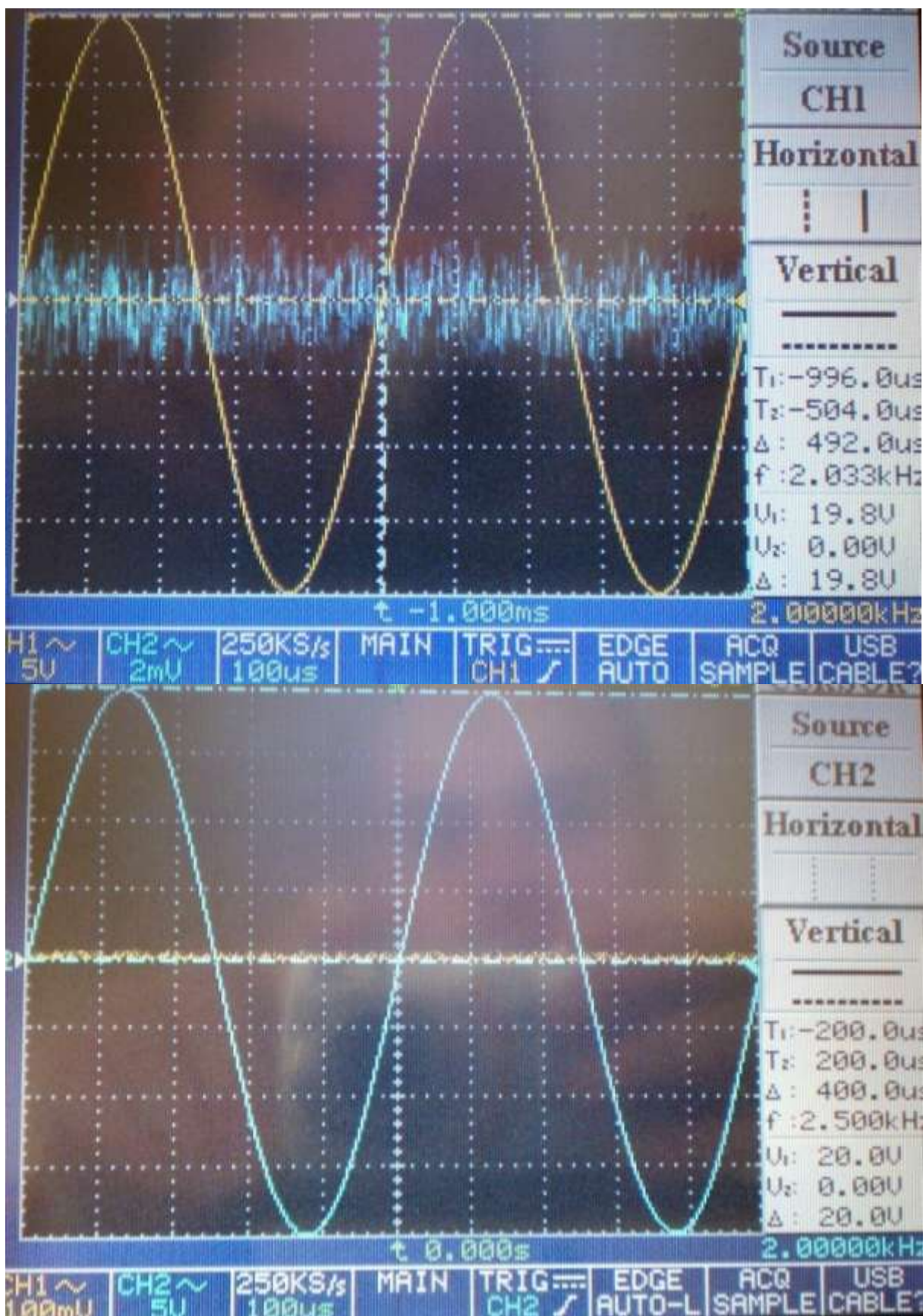
Příloha č. 75 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a chodu naprázdno



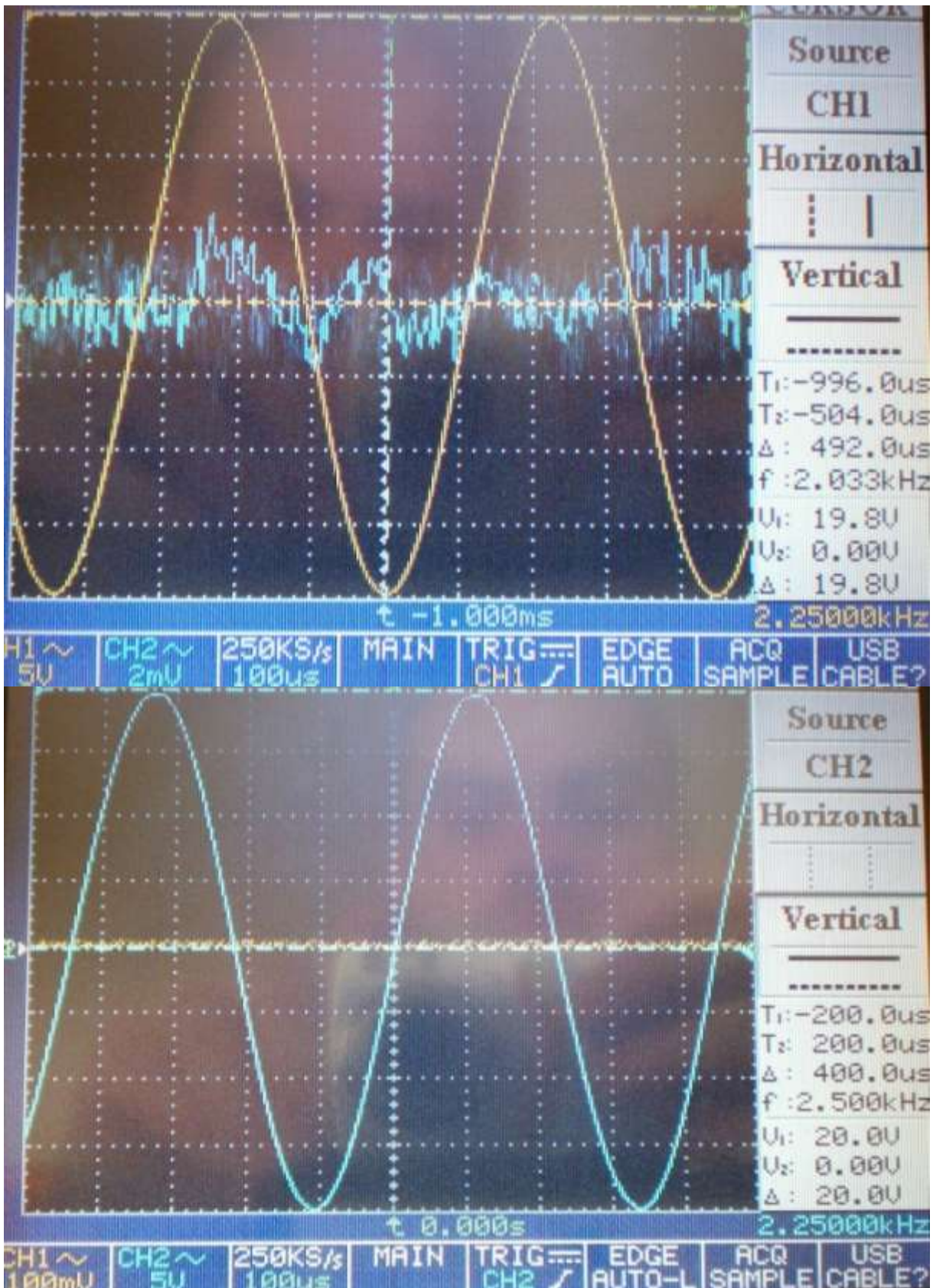
Příloha č. 80 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1500Hz a chodu naprázdno



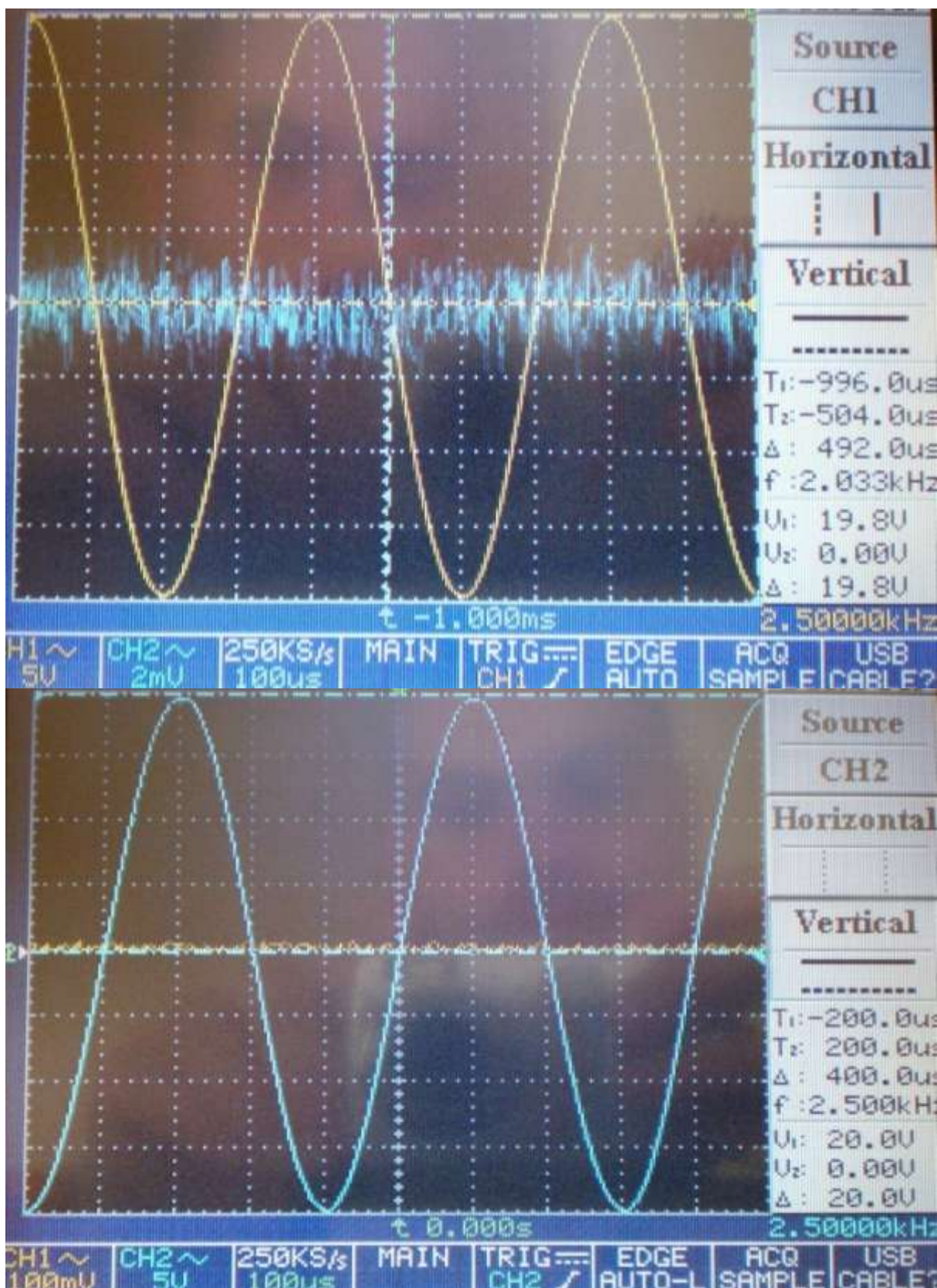
Příloha č. 85 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 1750Hz a chodu naprázdno



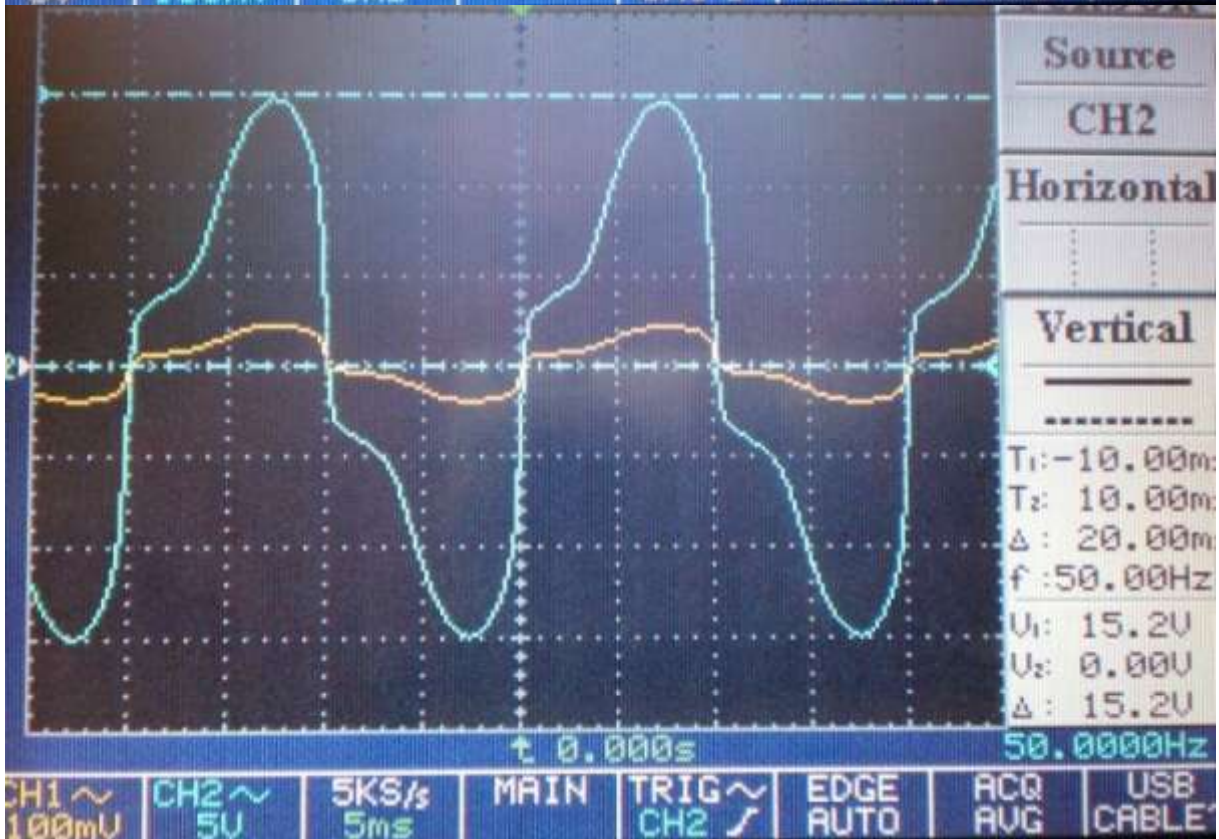
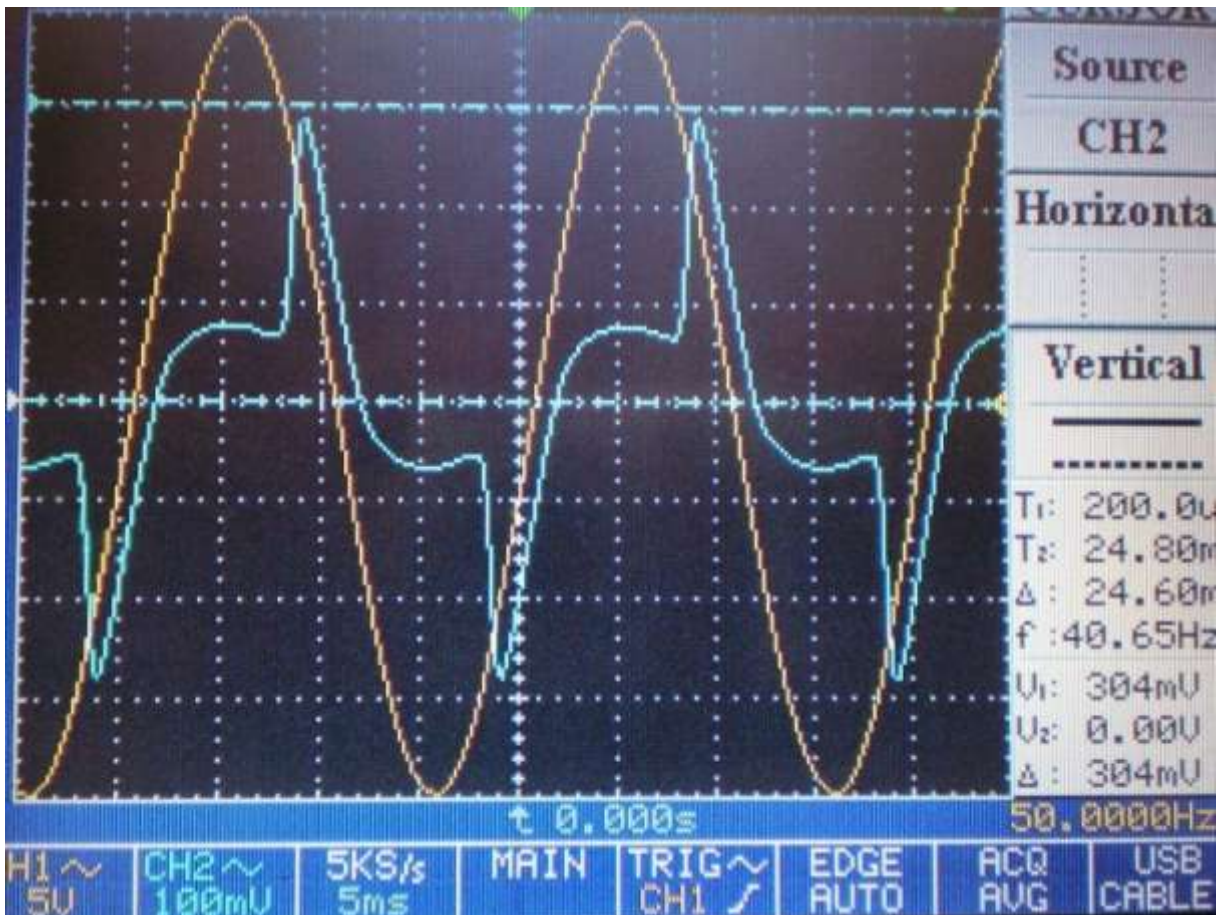
Příloha č. 90 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2000Hz a chodu naprázdno



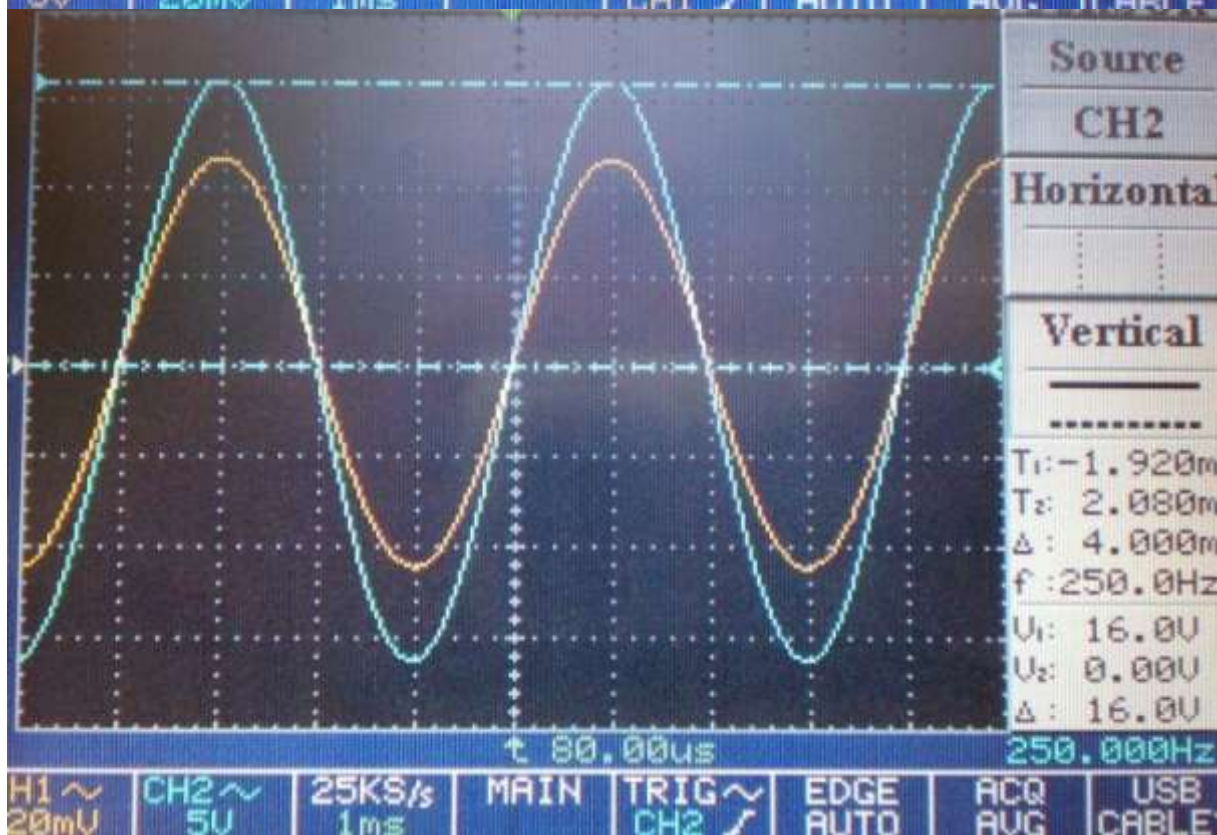
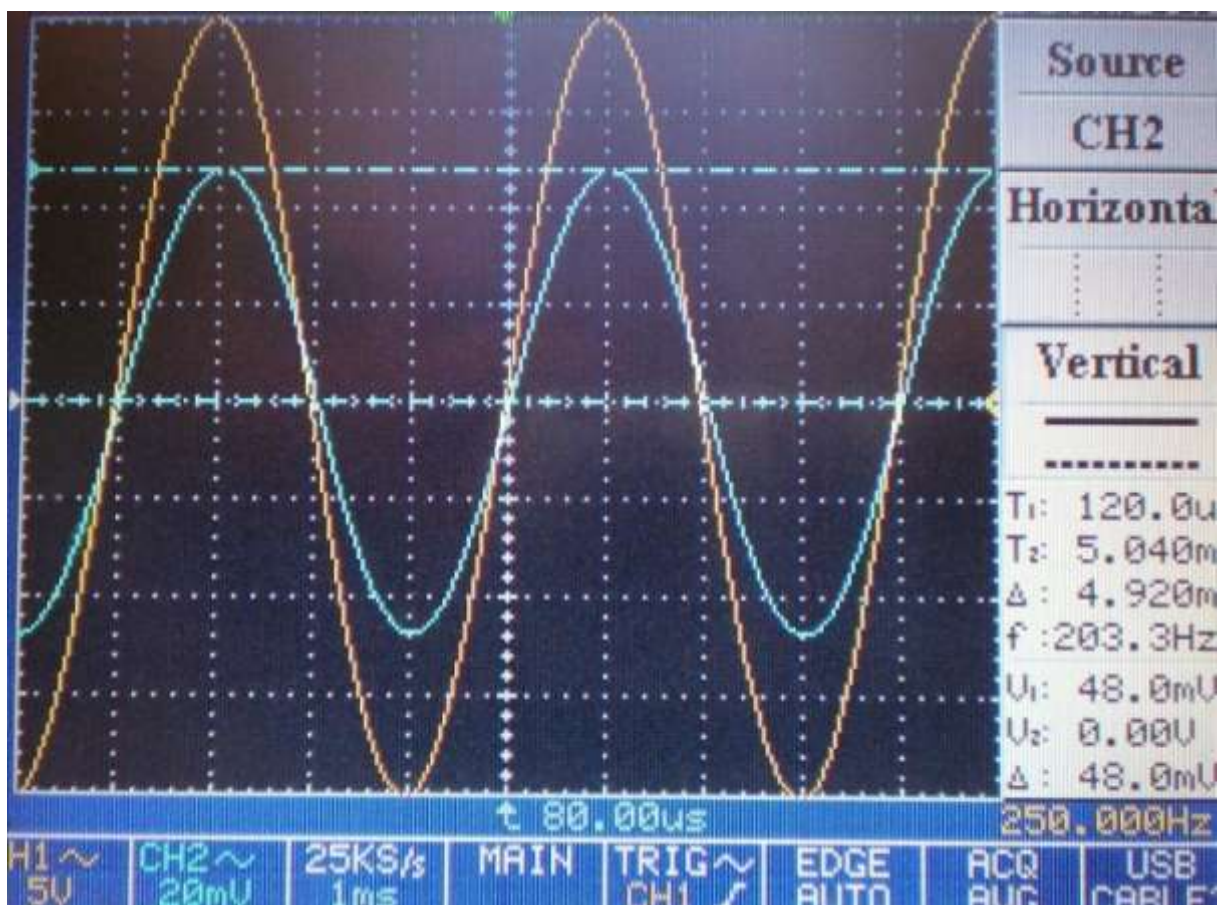
Příloha č. 95 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2250Hz a chodu naprázdno



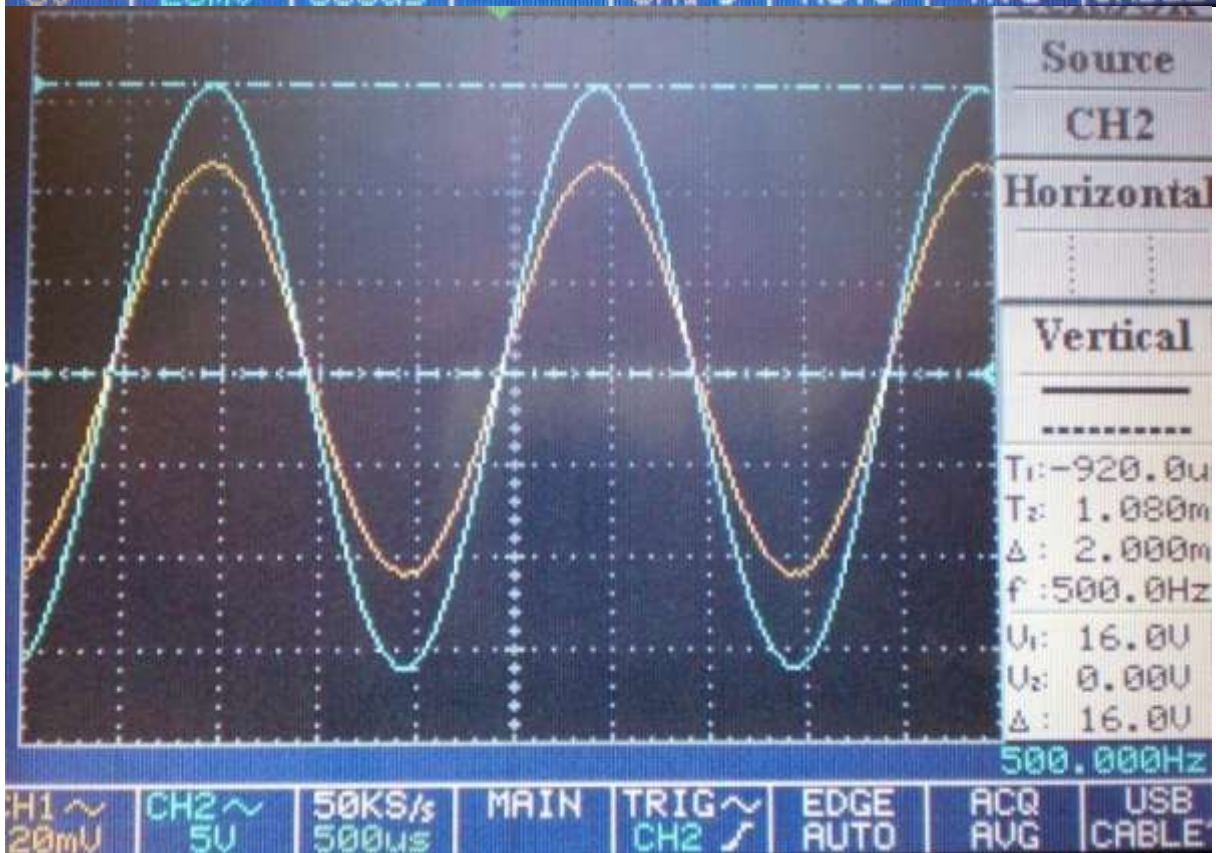
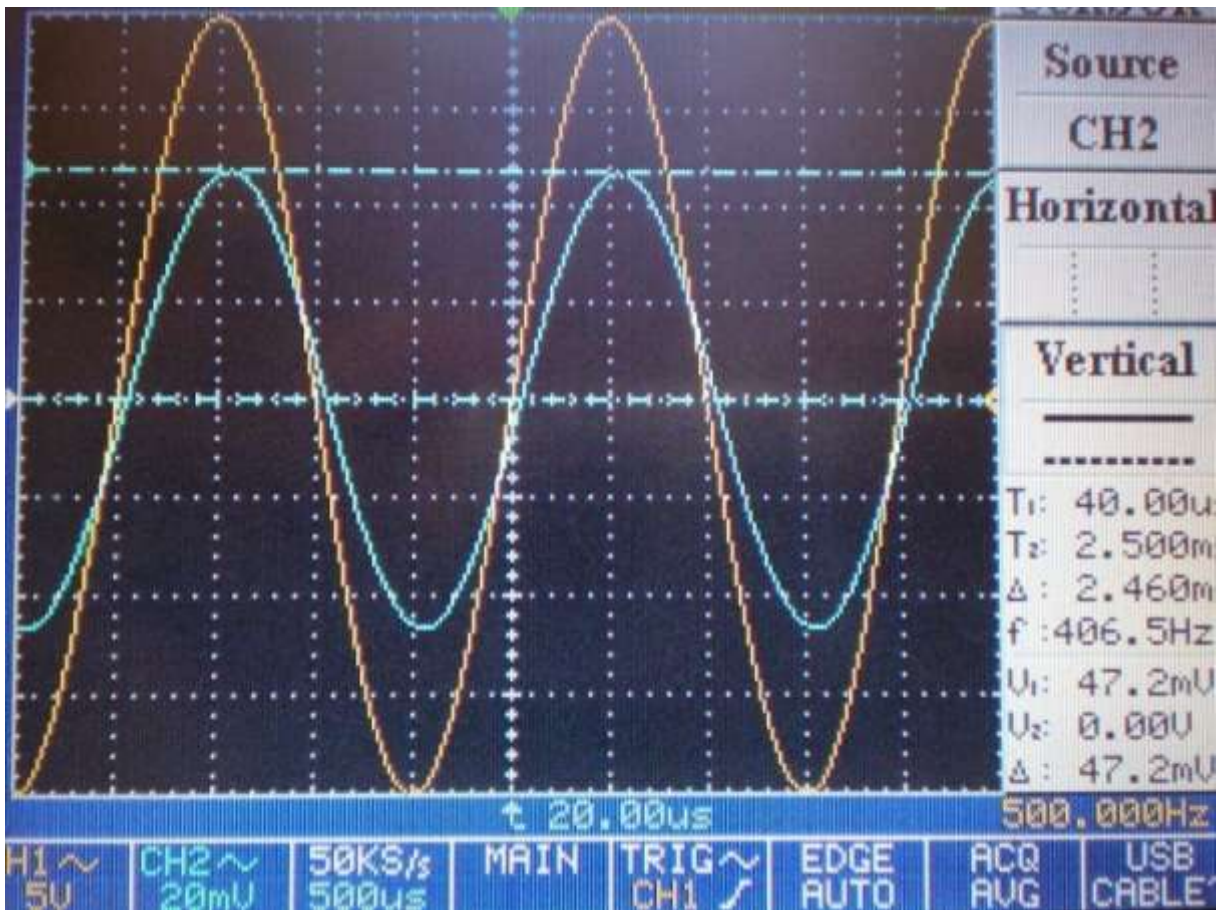
Příloha č. 100 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 2500Hz a chodu naprázdno



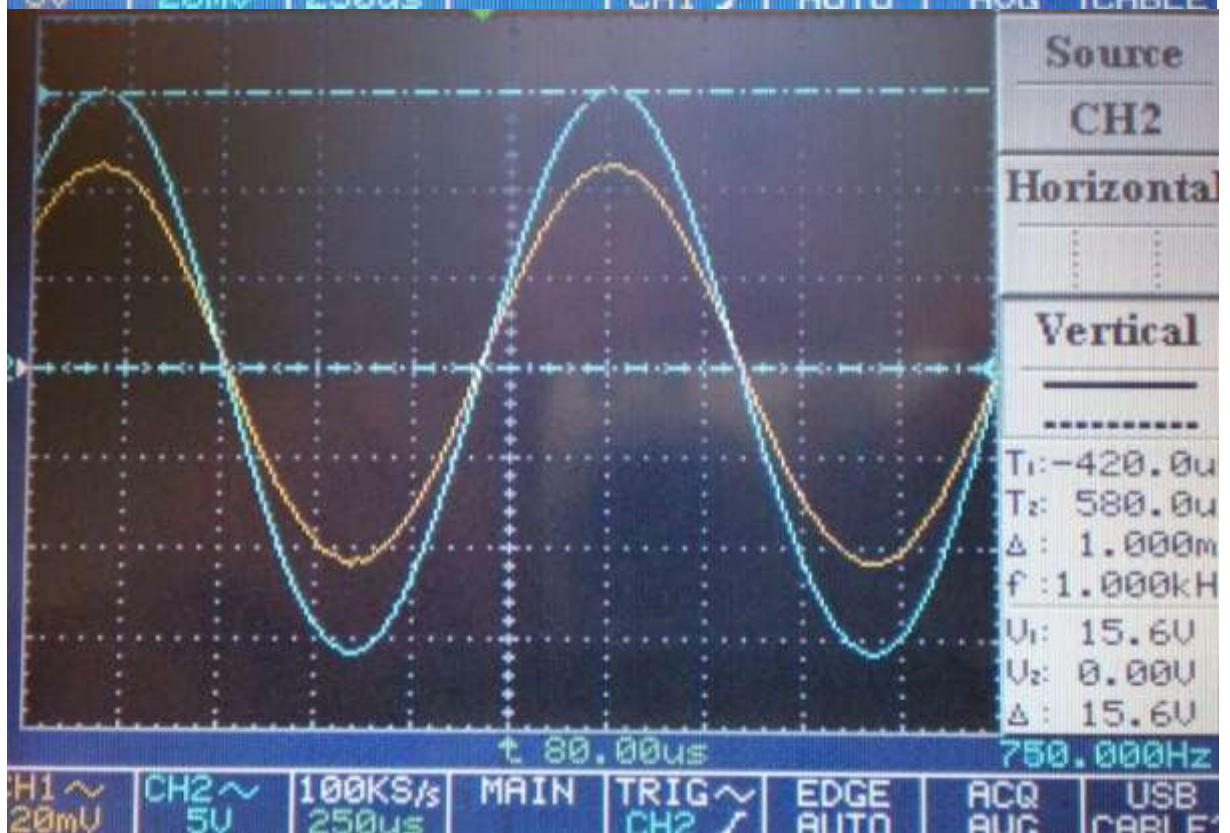
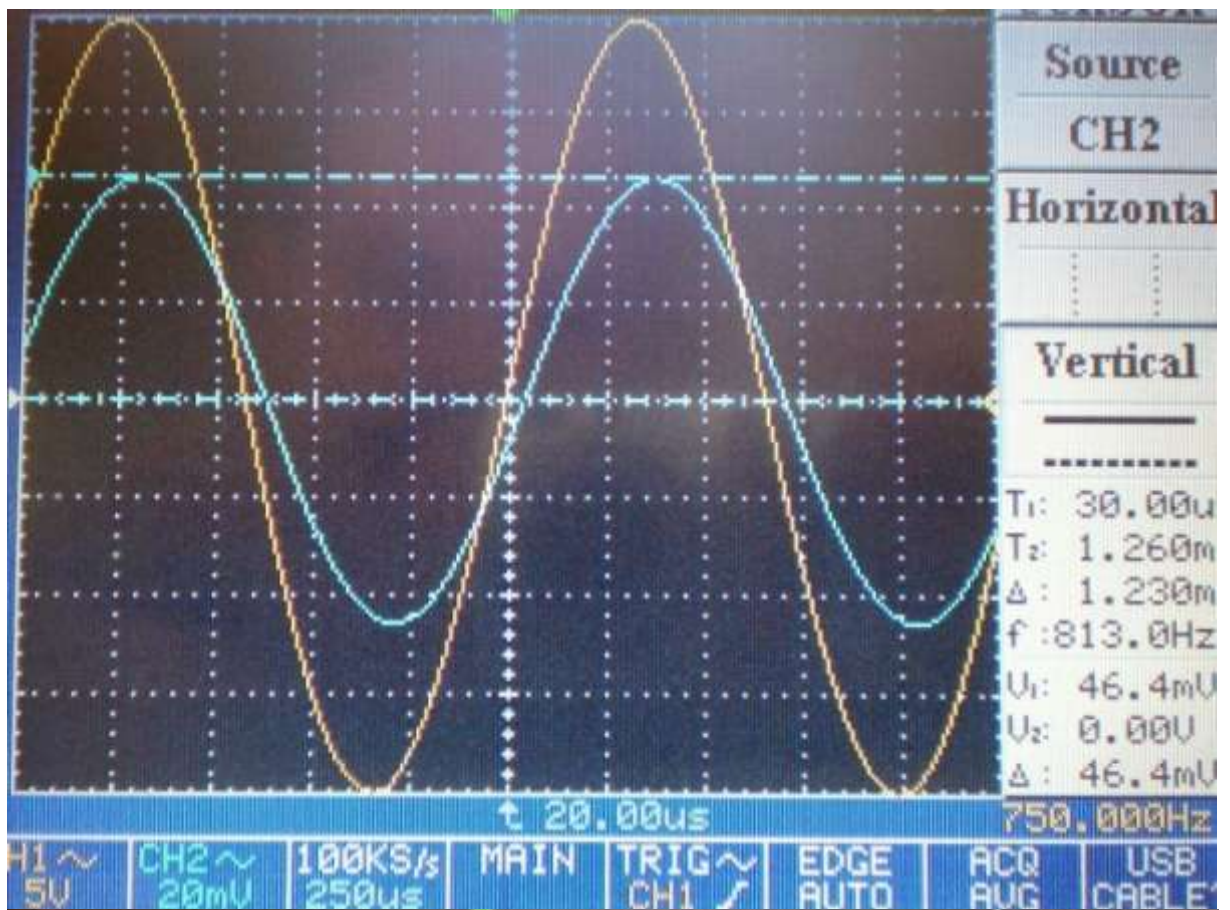
Příloha č. 101 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a jmenovitém zatížení



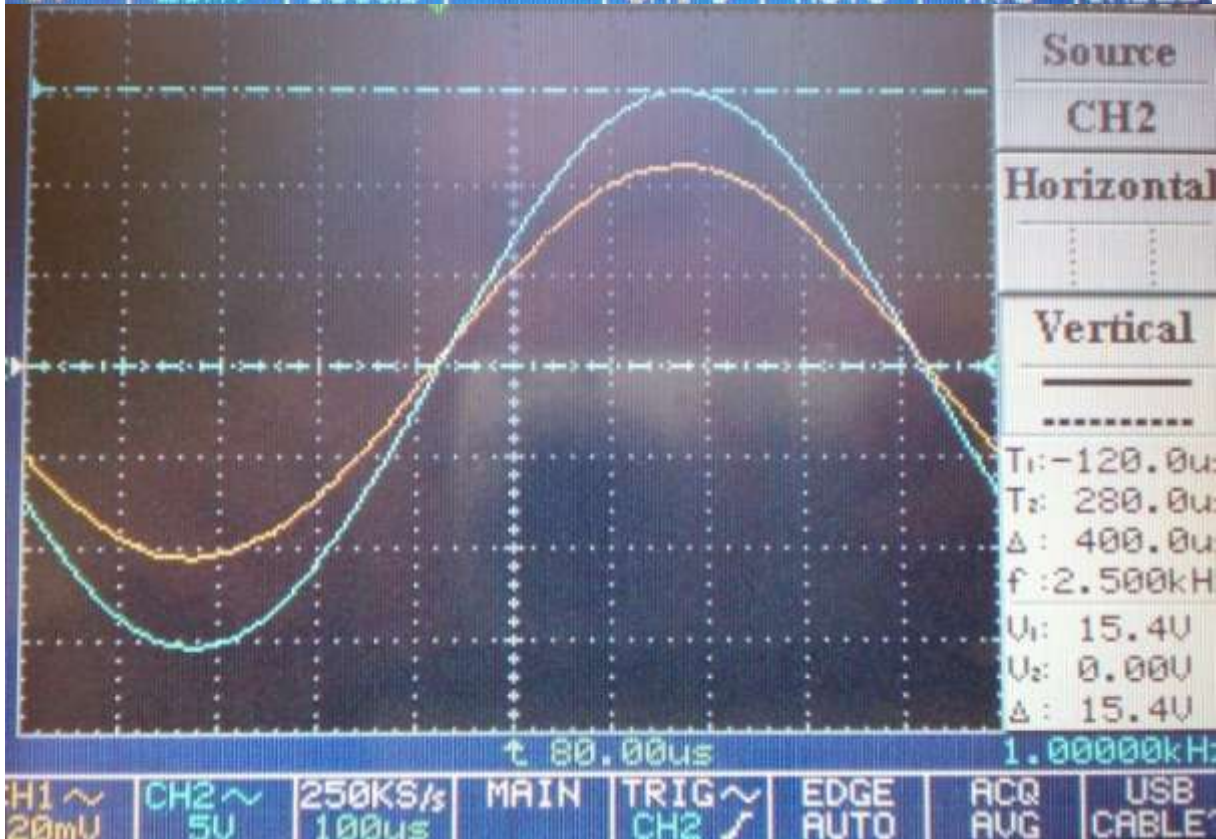
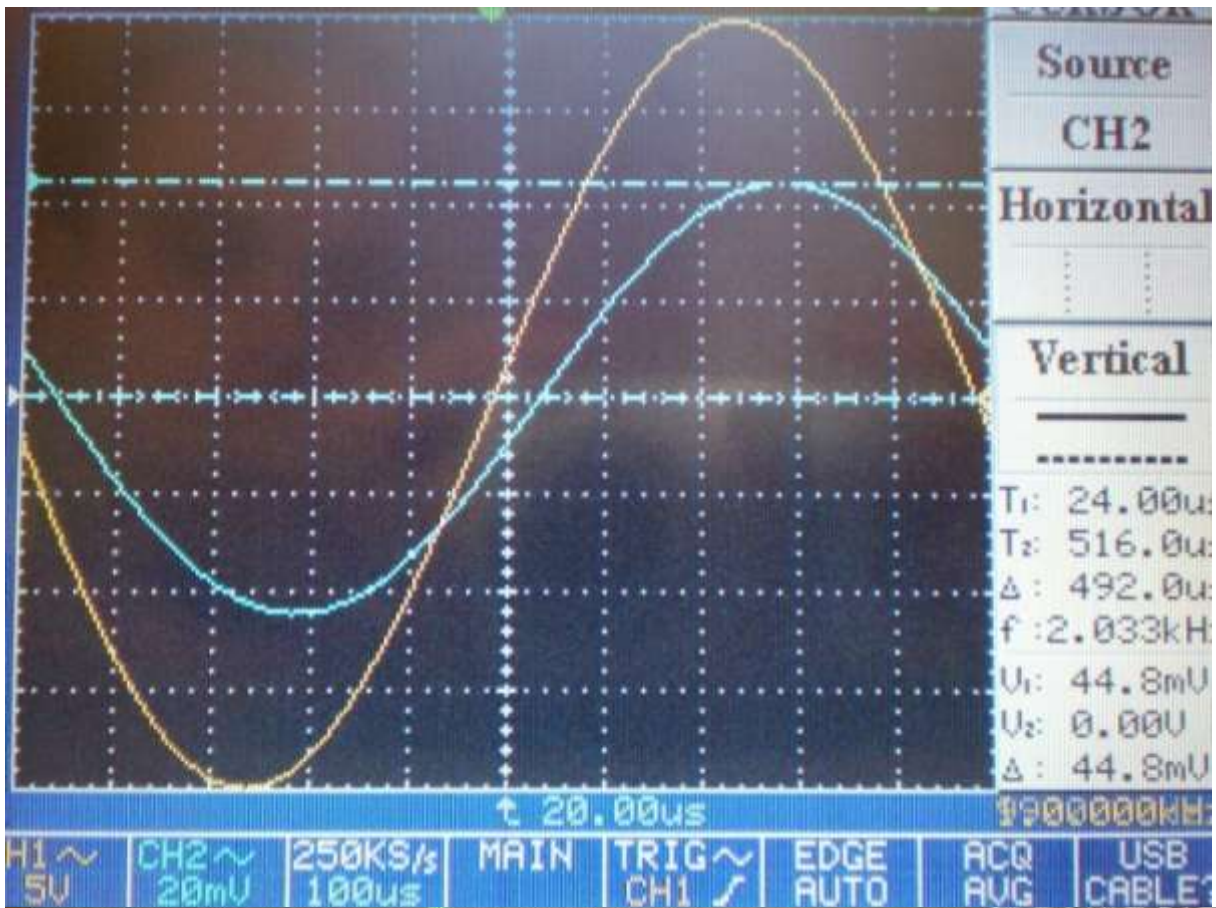
Příloha č. 105 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a jmenovitém zatížení



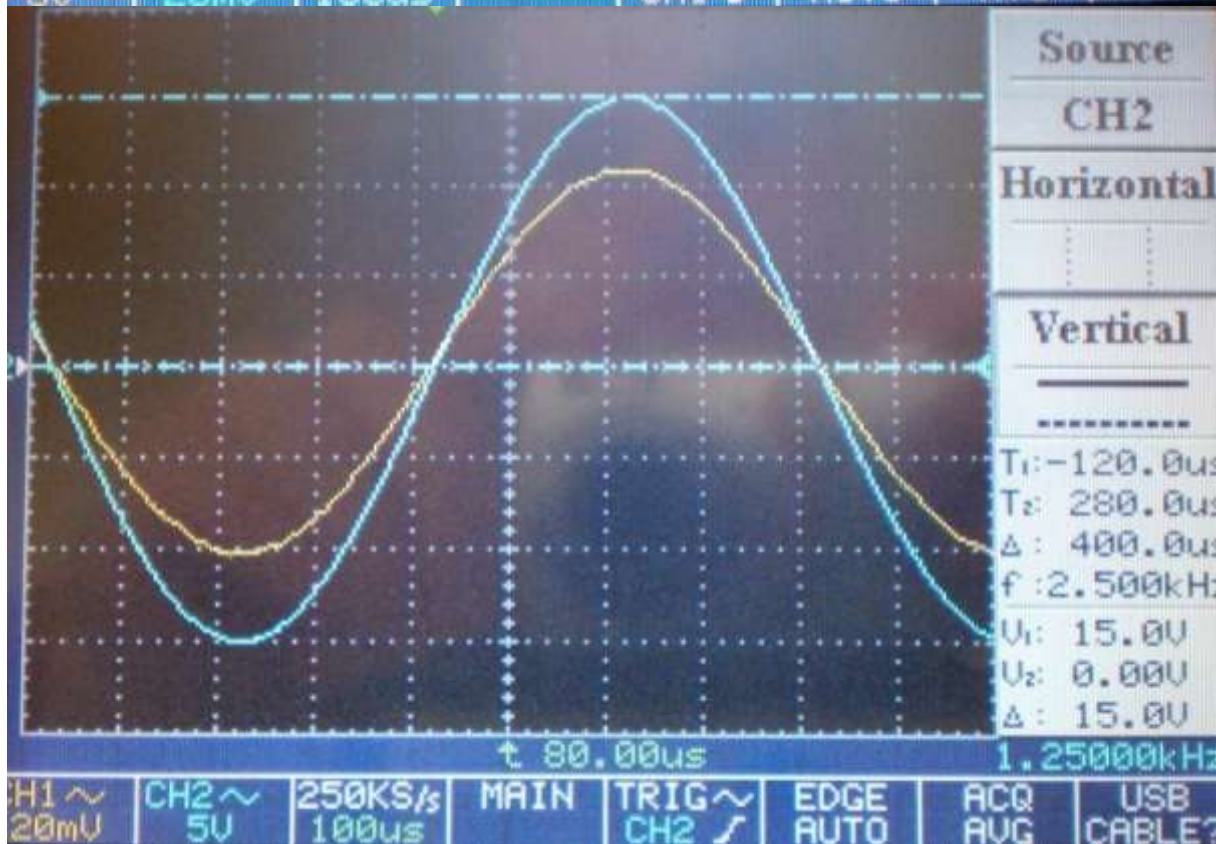
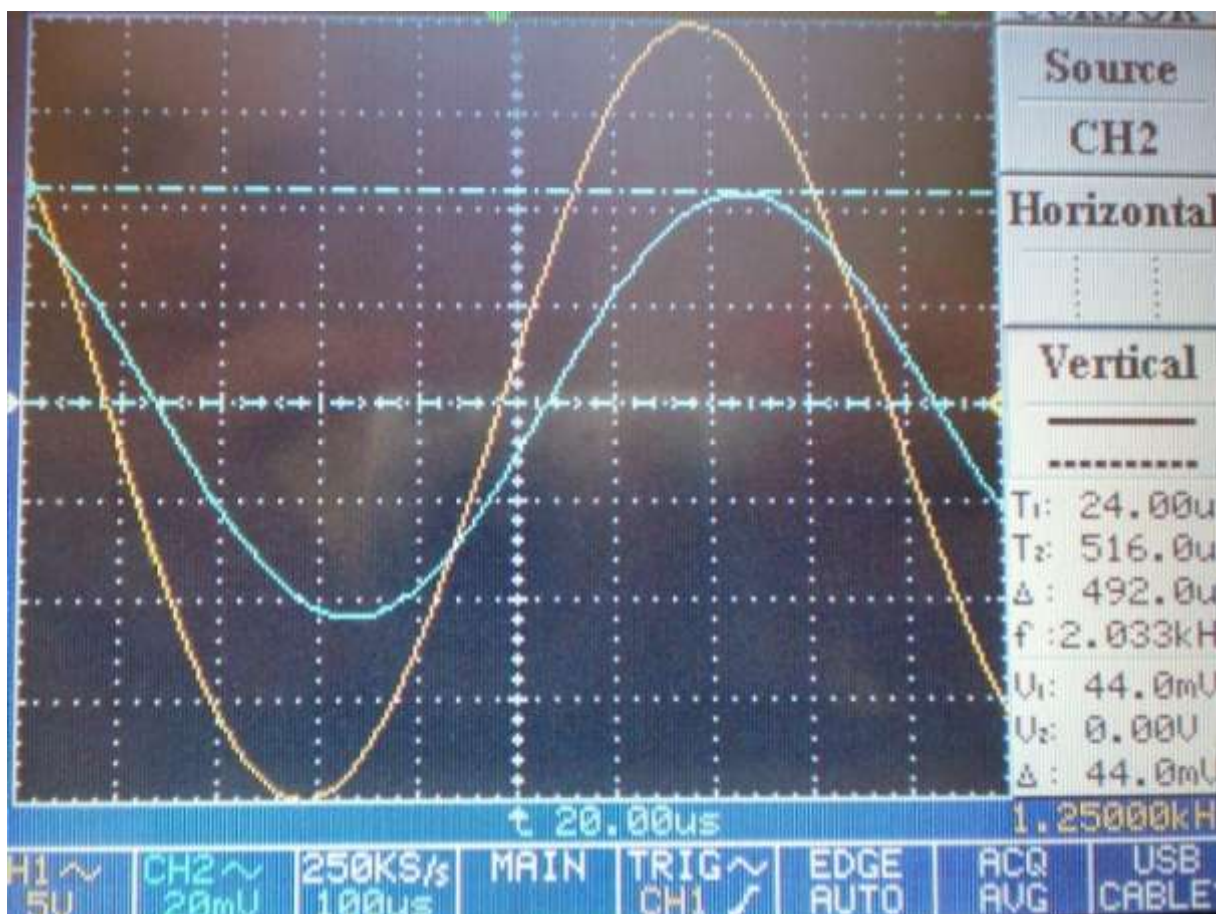
Příloha č. 110 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a jmenovitém zatížení



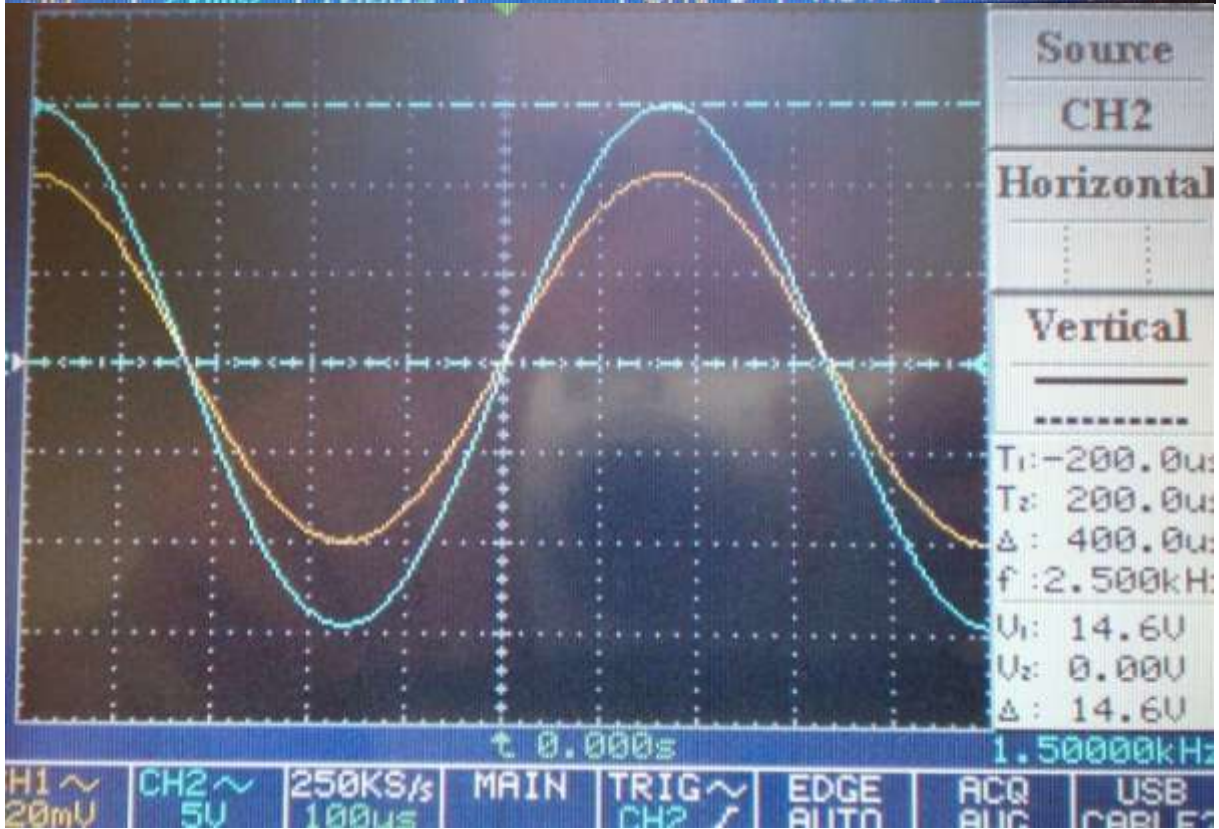
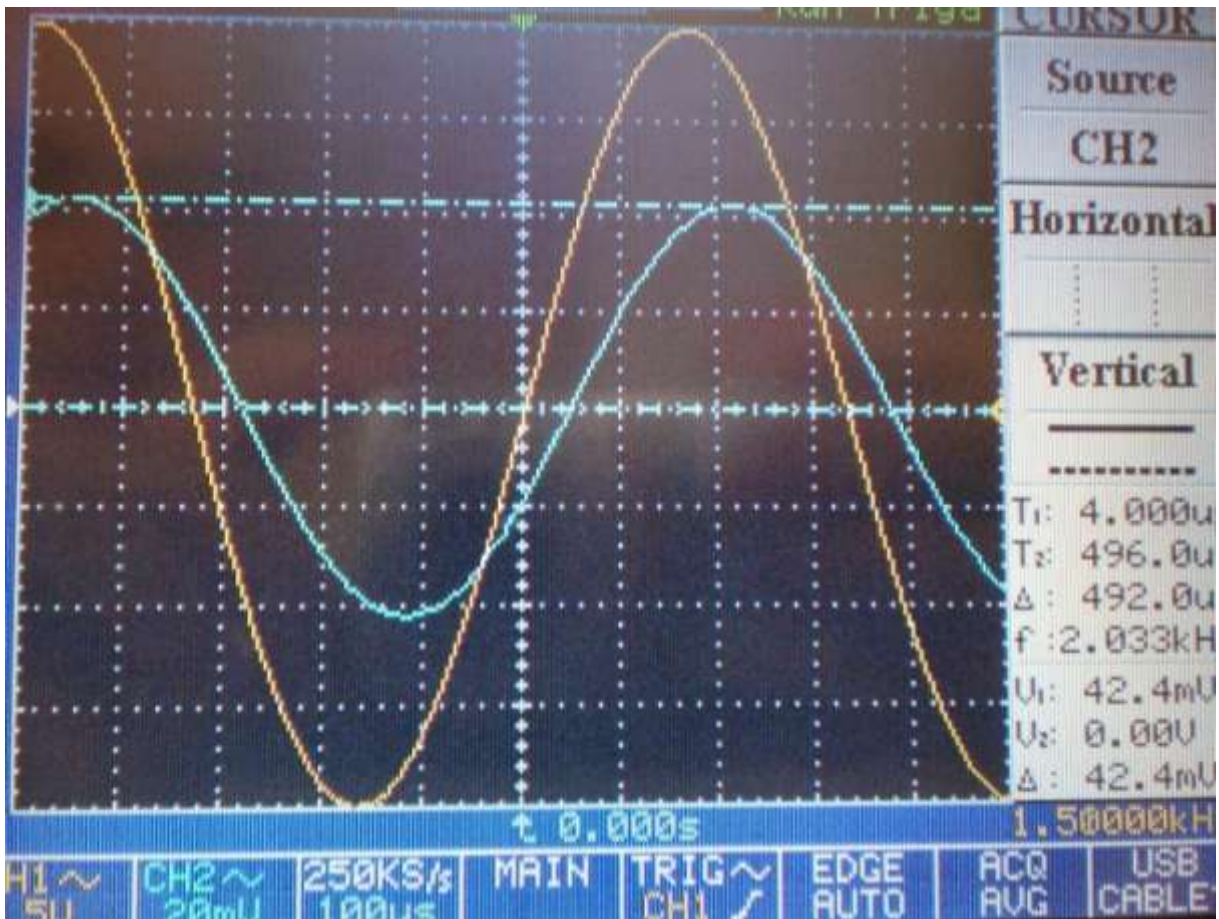
Příloha č. 115 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a jmenovitém zatížení



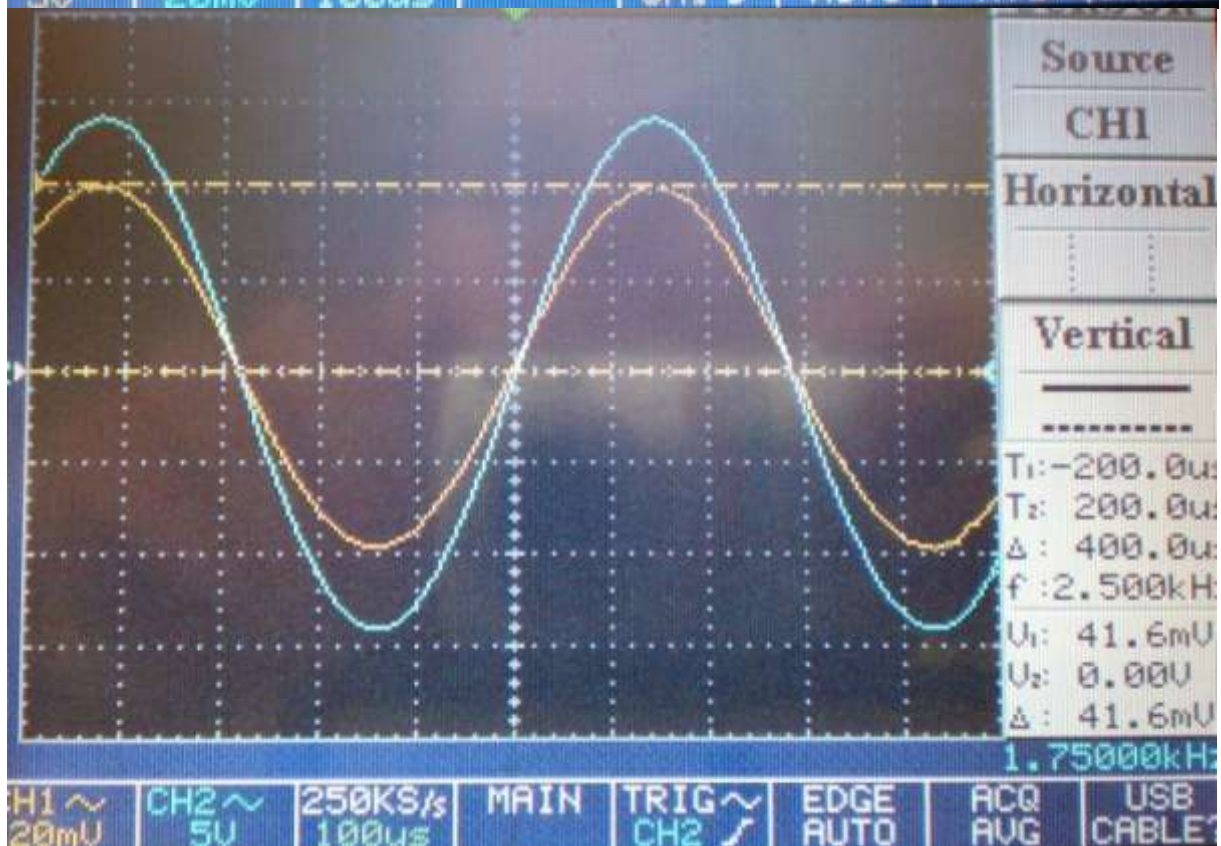
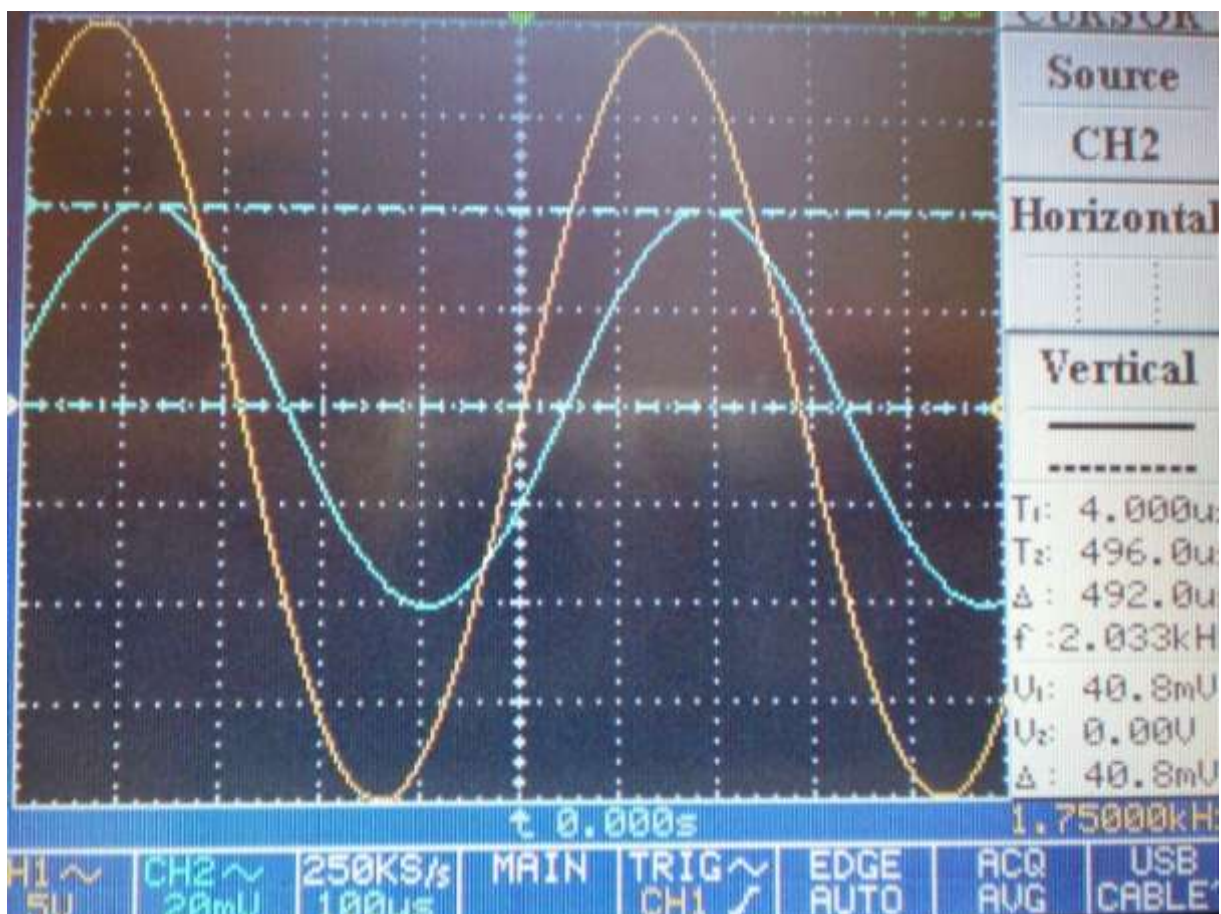
Příloha č. 120 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a jmenovitém zatížení



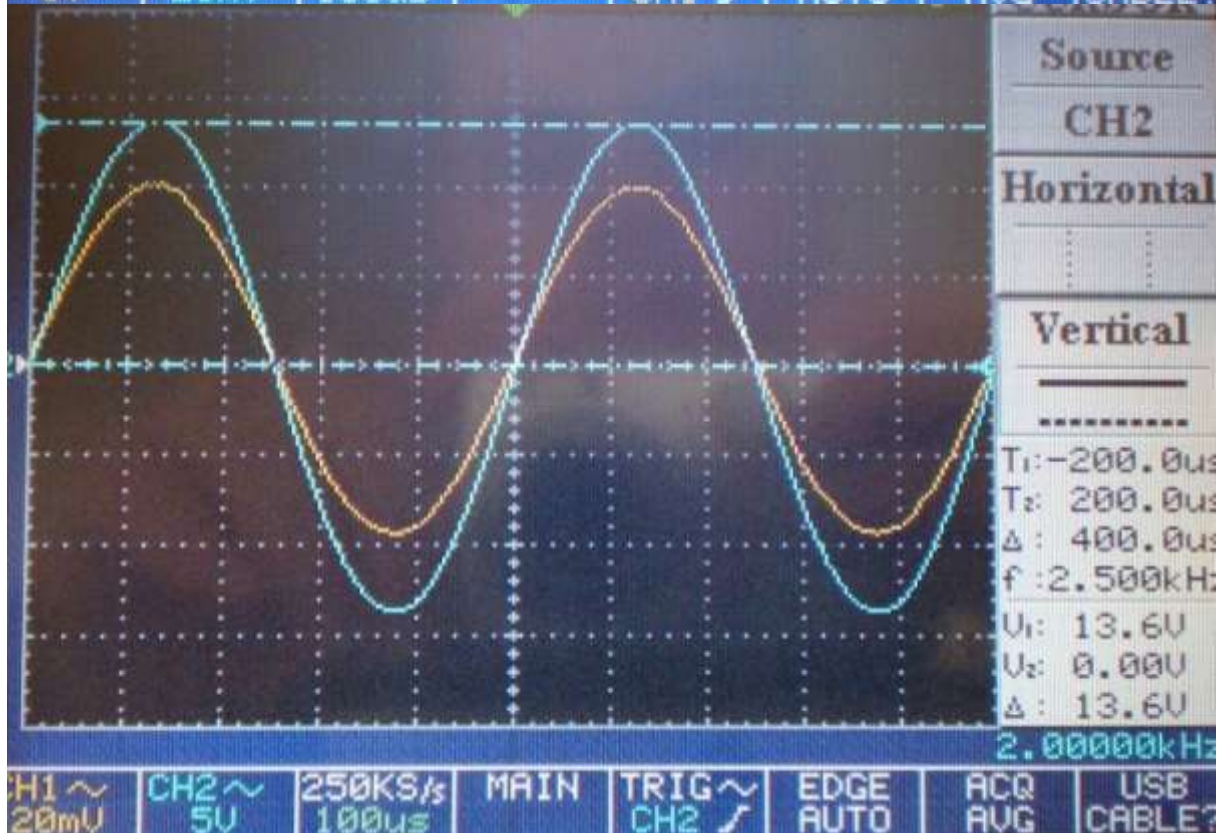
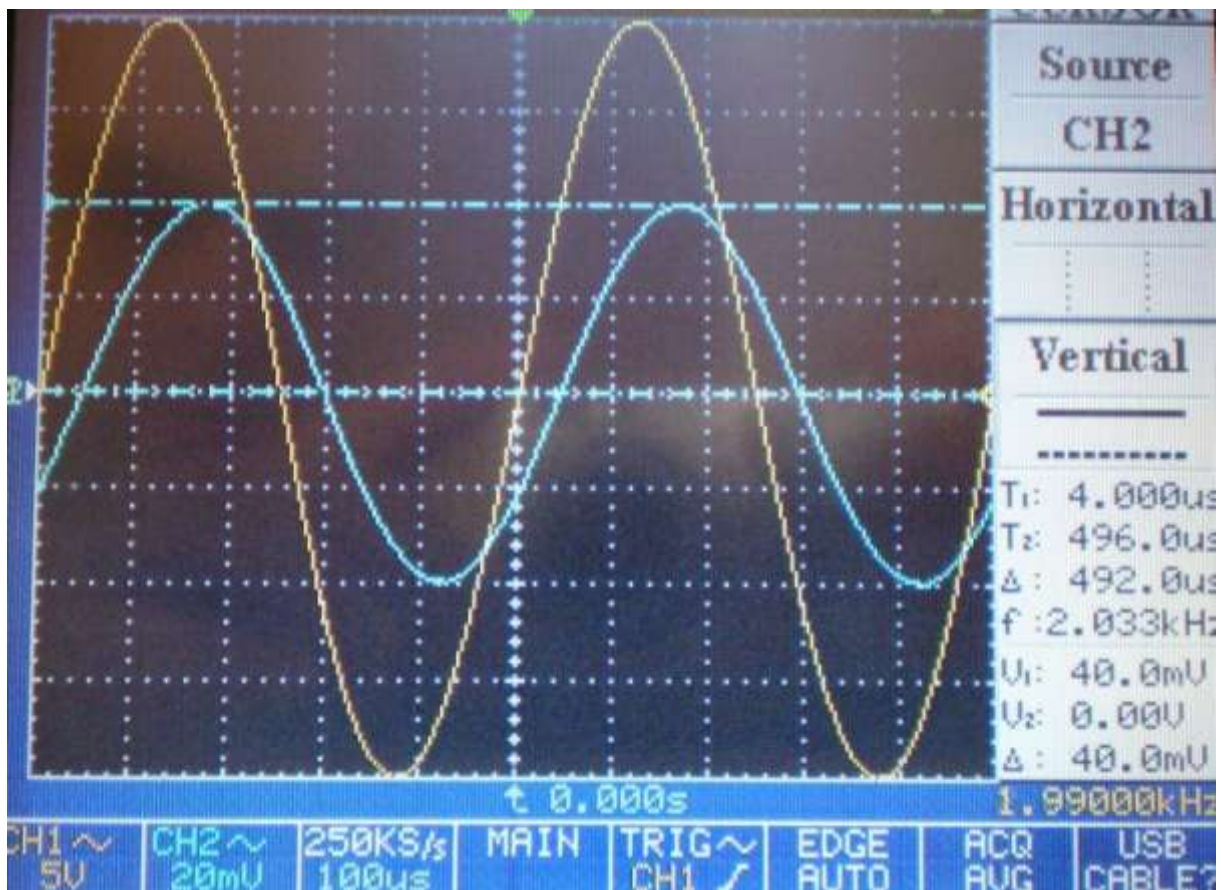
Příloha č. 125 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a jmenovitém zatížení



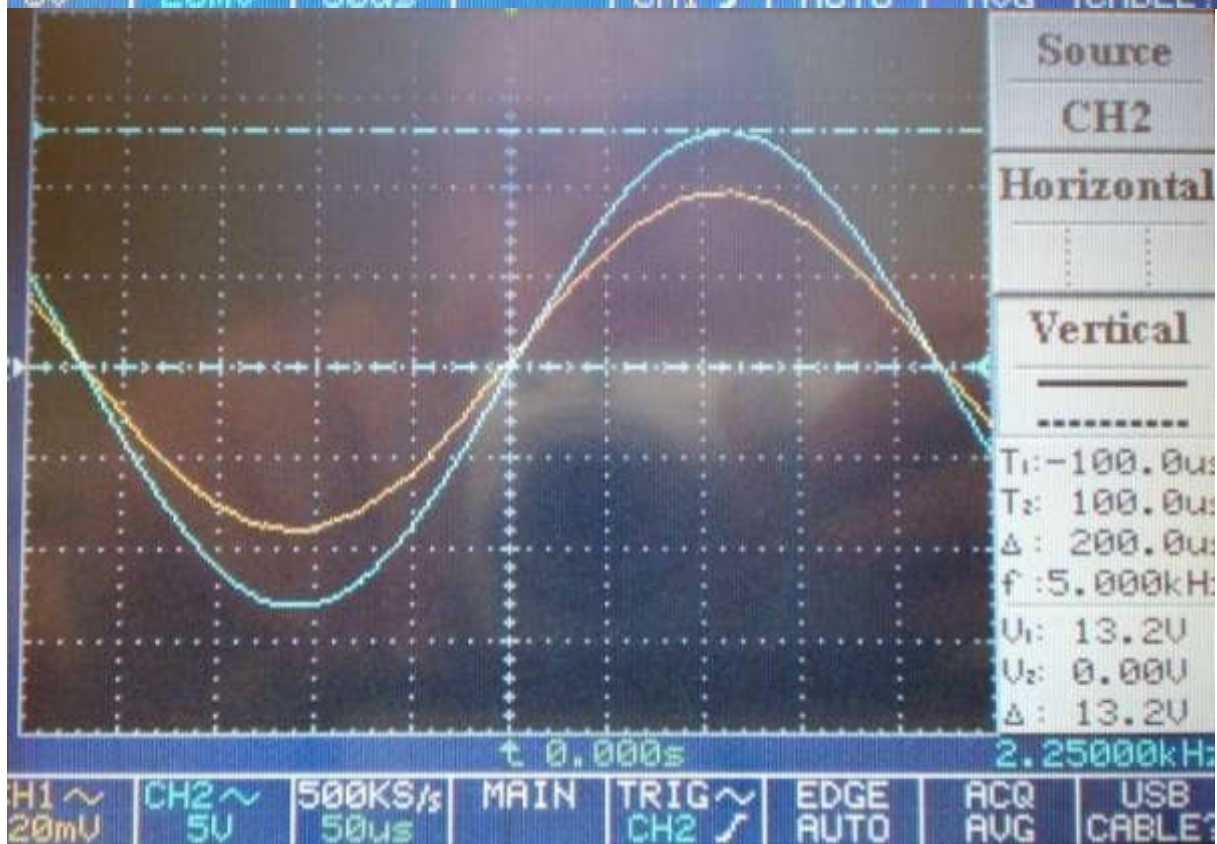
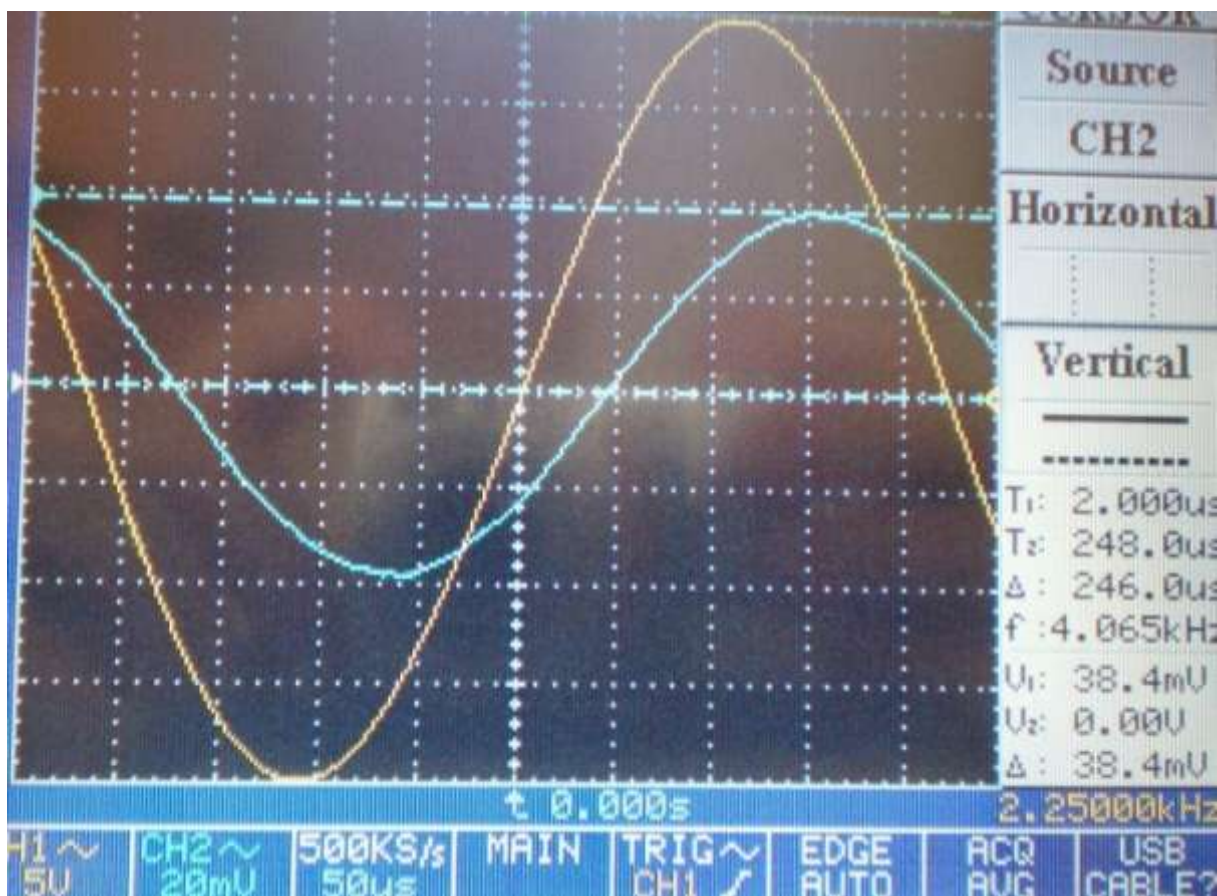
Příloha č. 130 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a jmenovitém zatížení



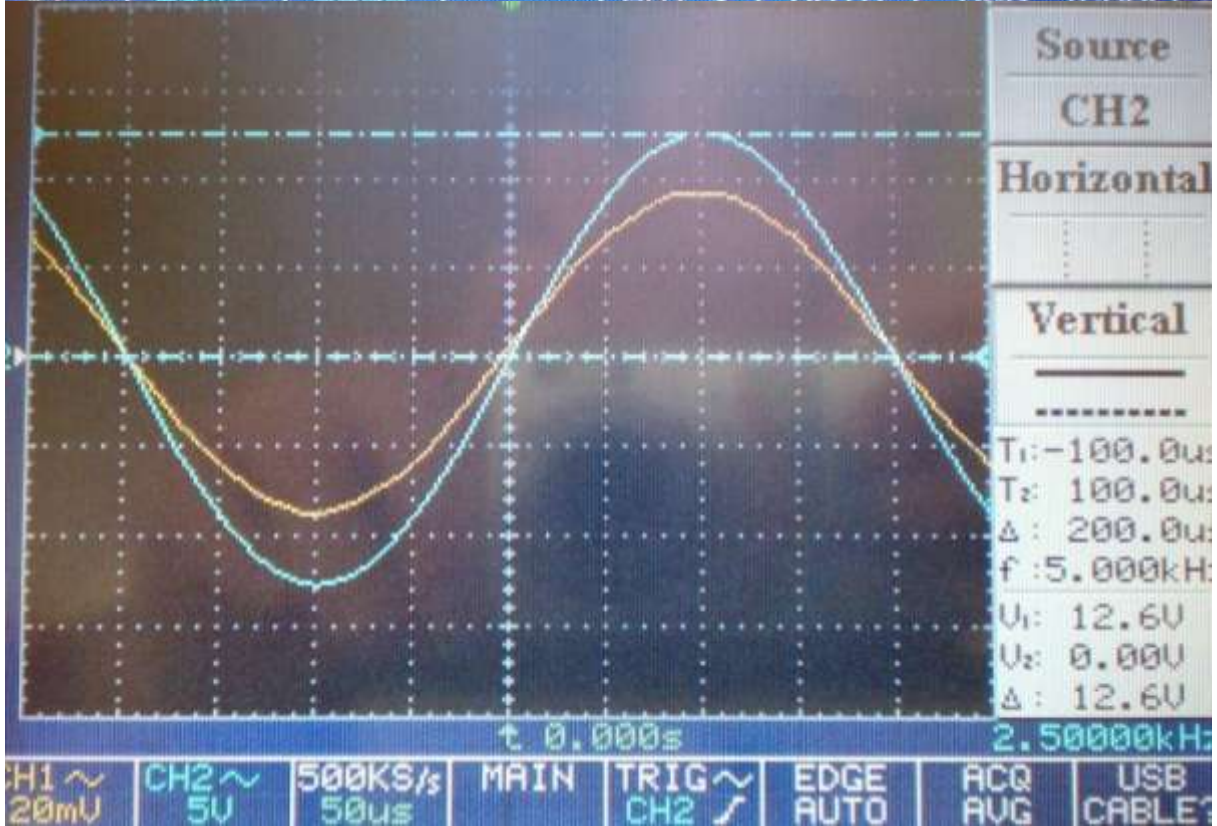
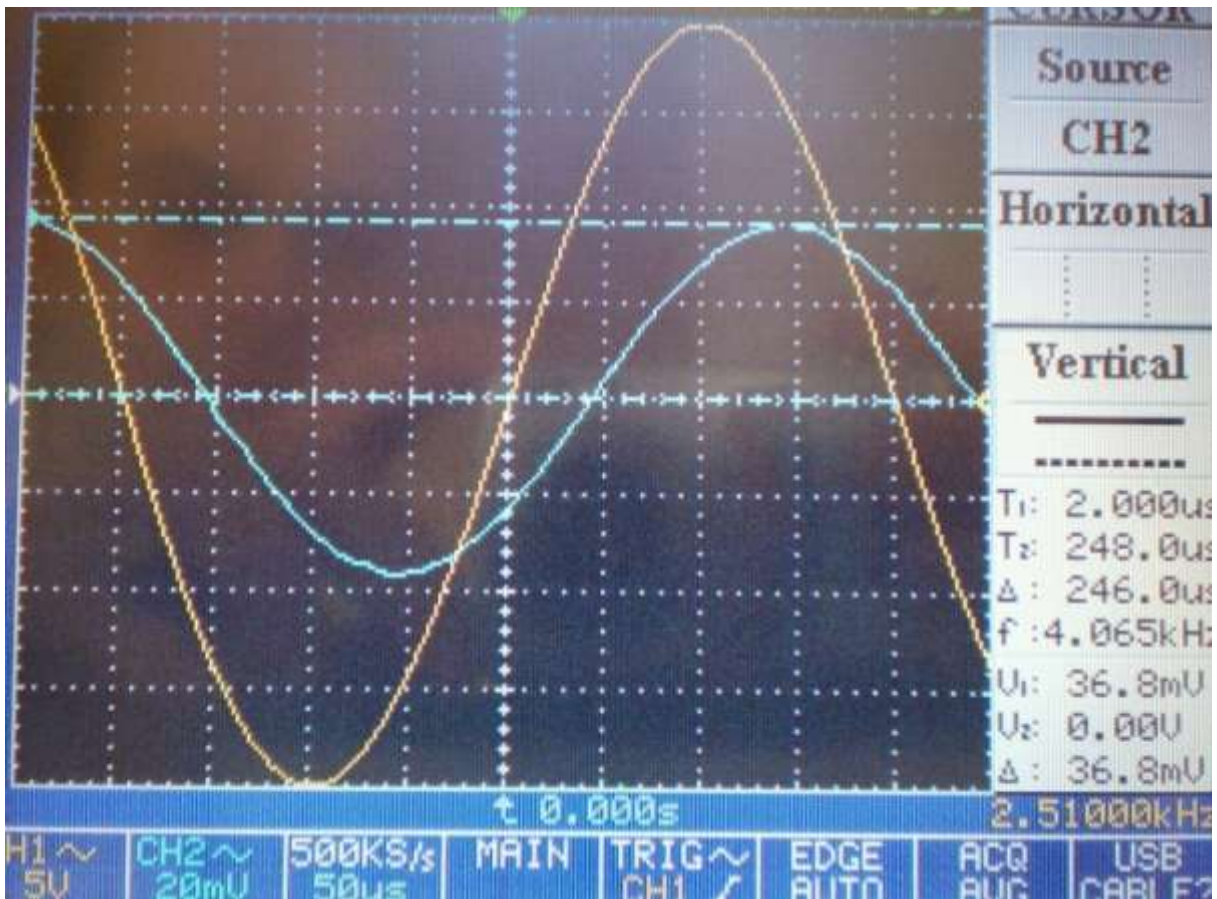
Příloha č. 135 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a jmenovitém zatížení



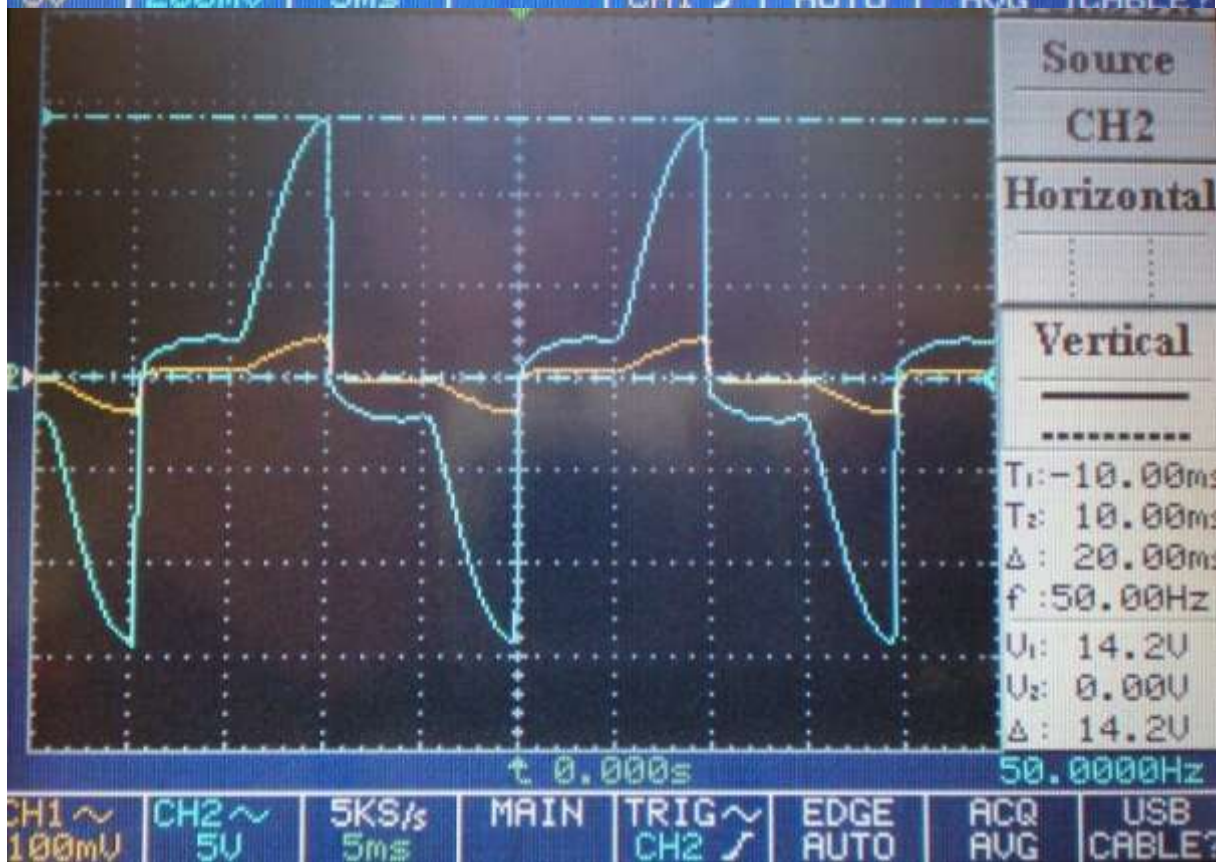
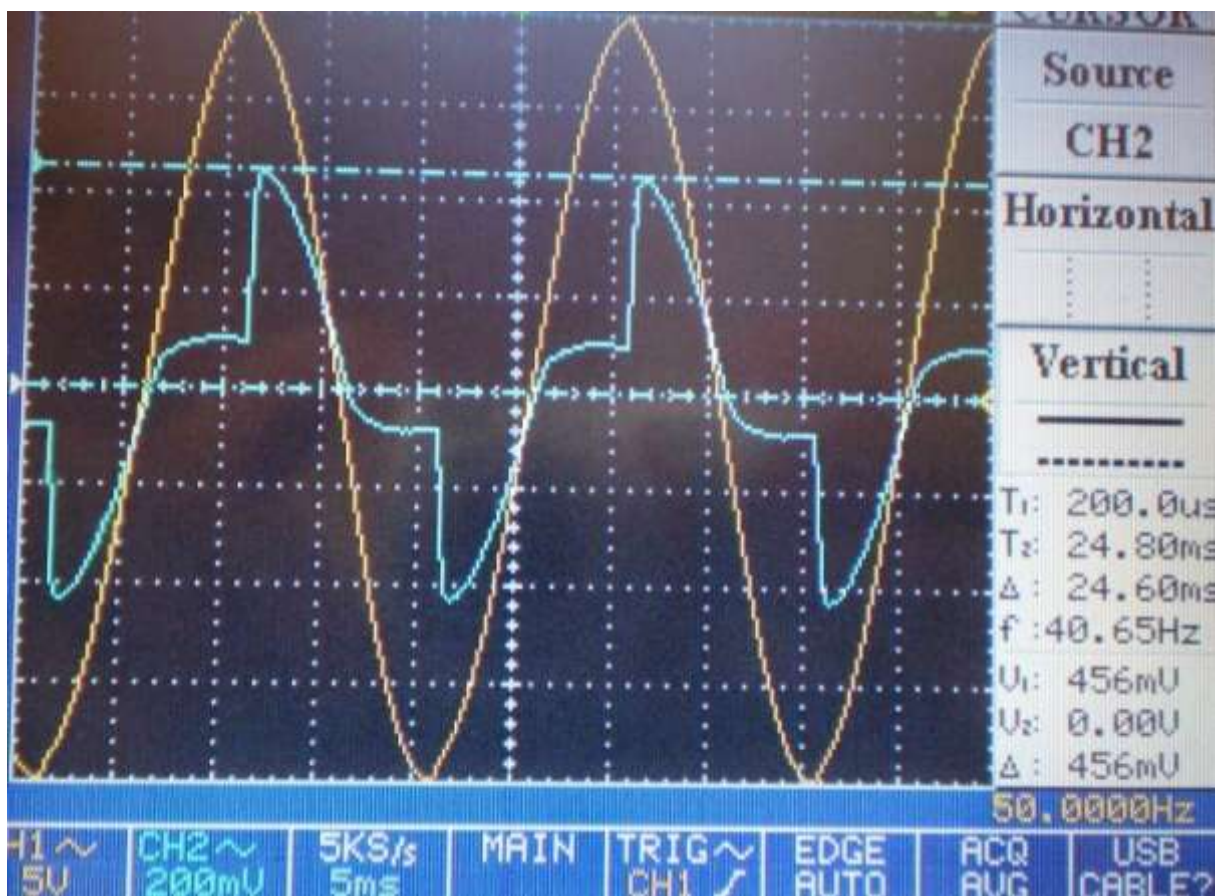
Příloha č. 140 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a jmenovitém zatížení



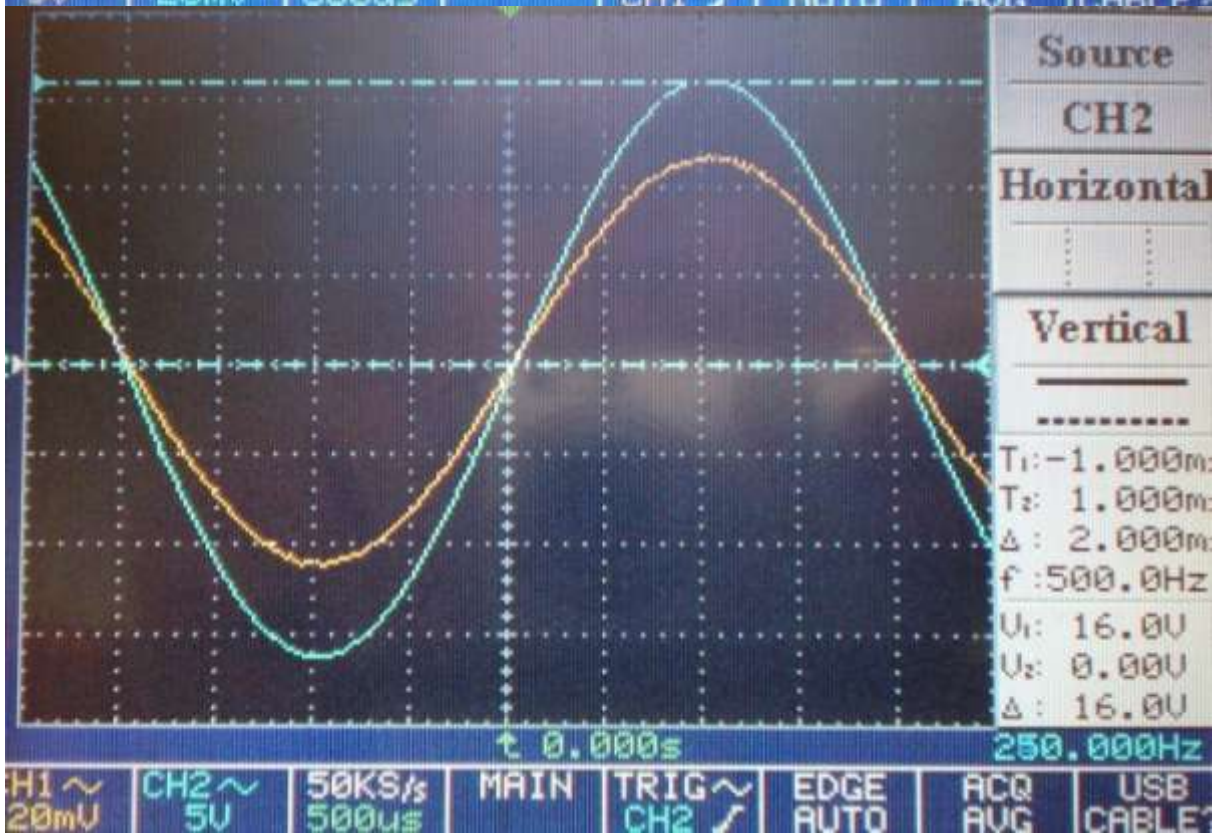
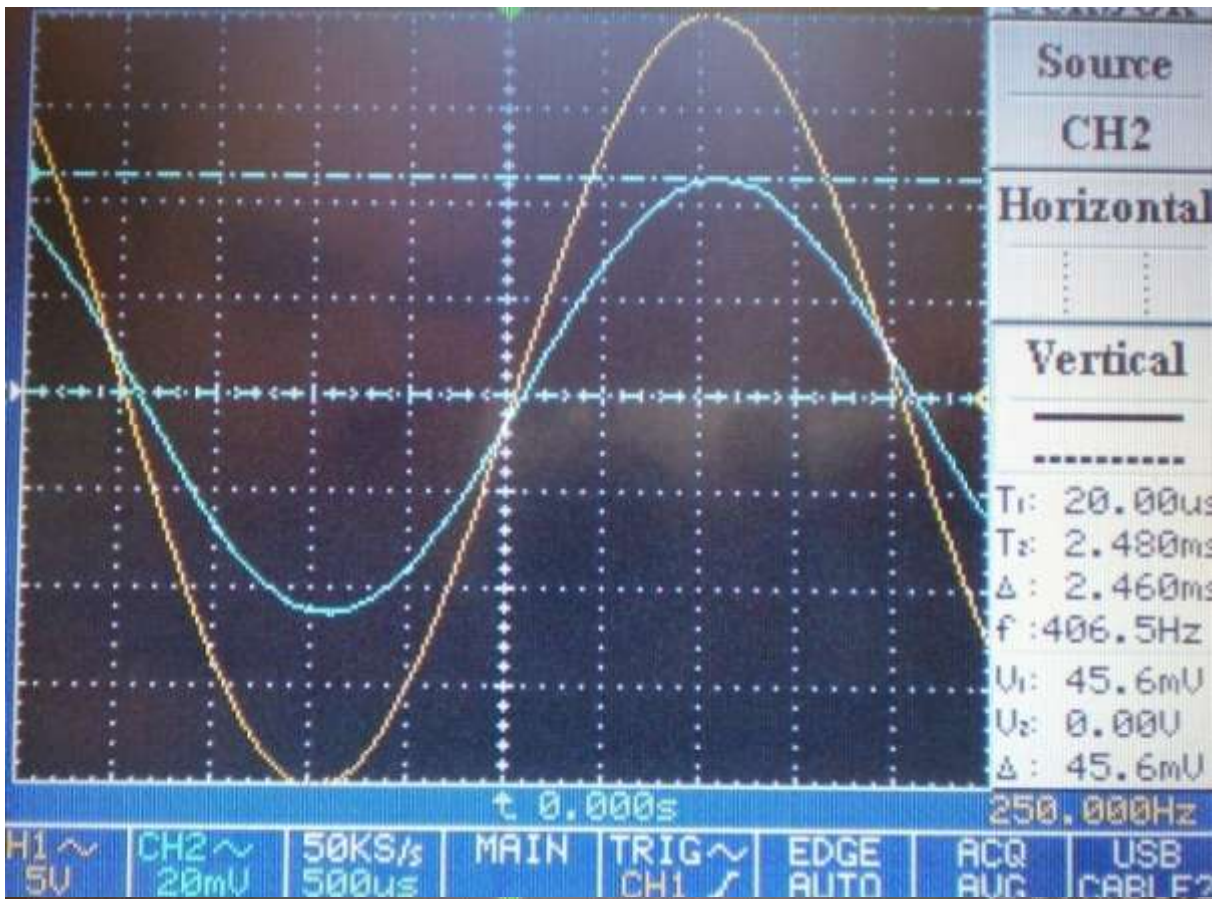
Příloha č. 145 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a jmenovitém zatížení



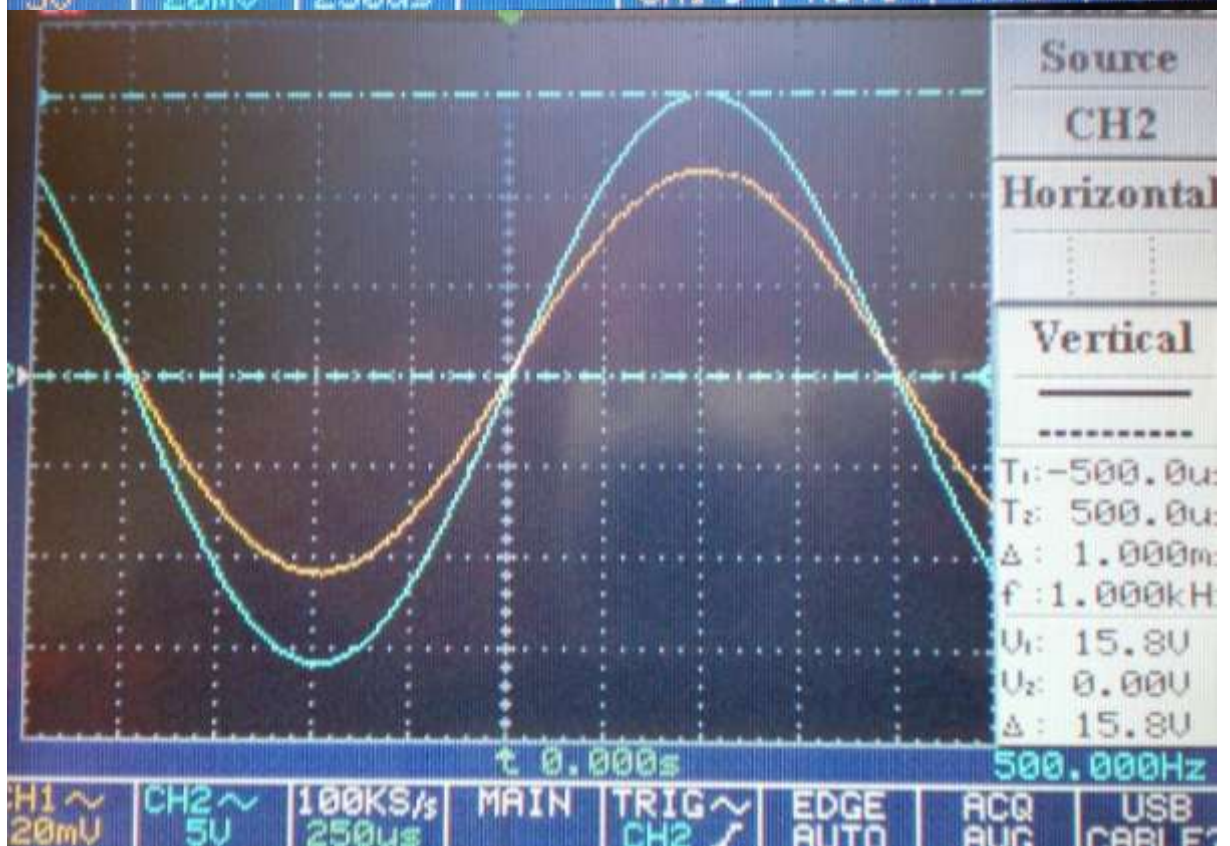
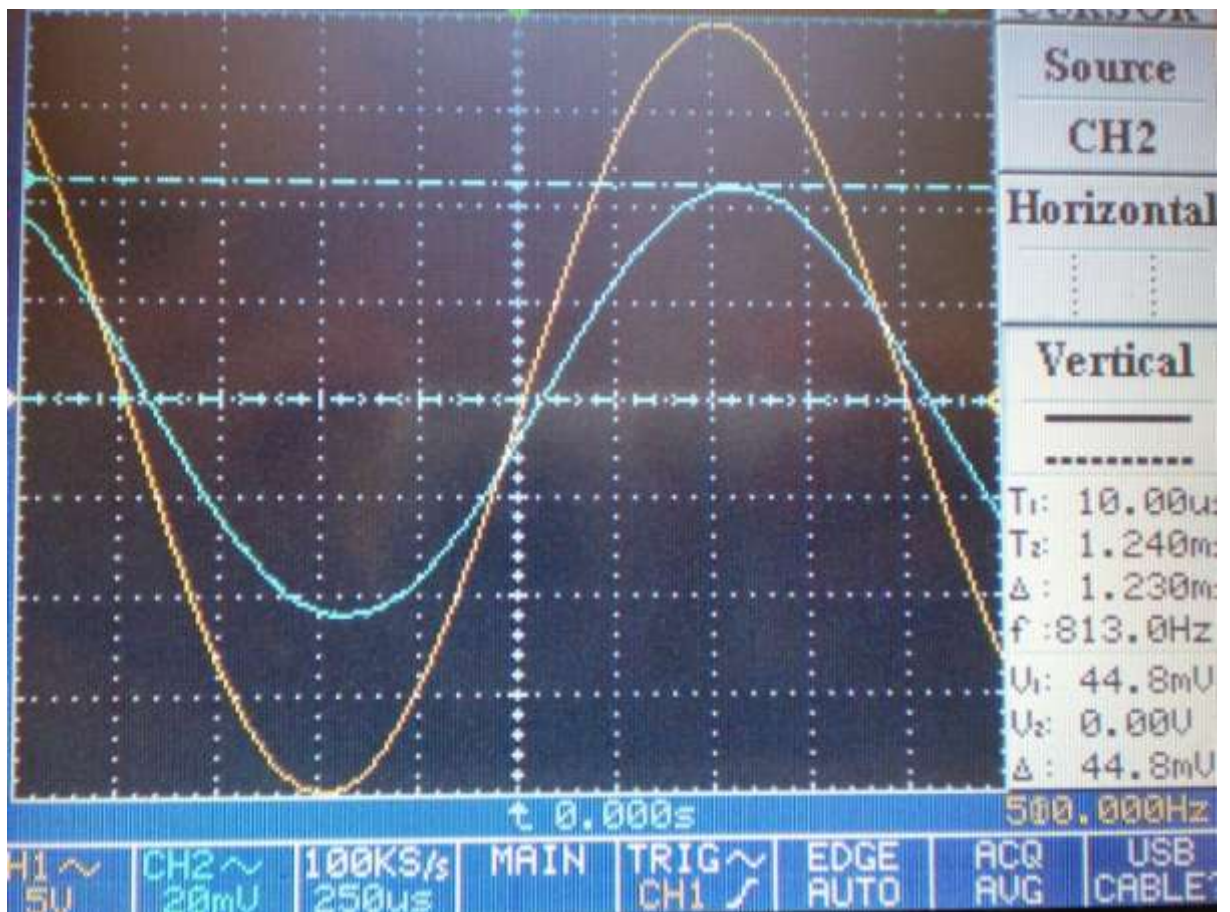
Příloha č. 150 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a jmenovitém zatížení



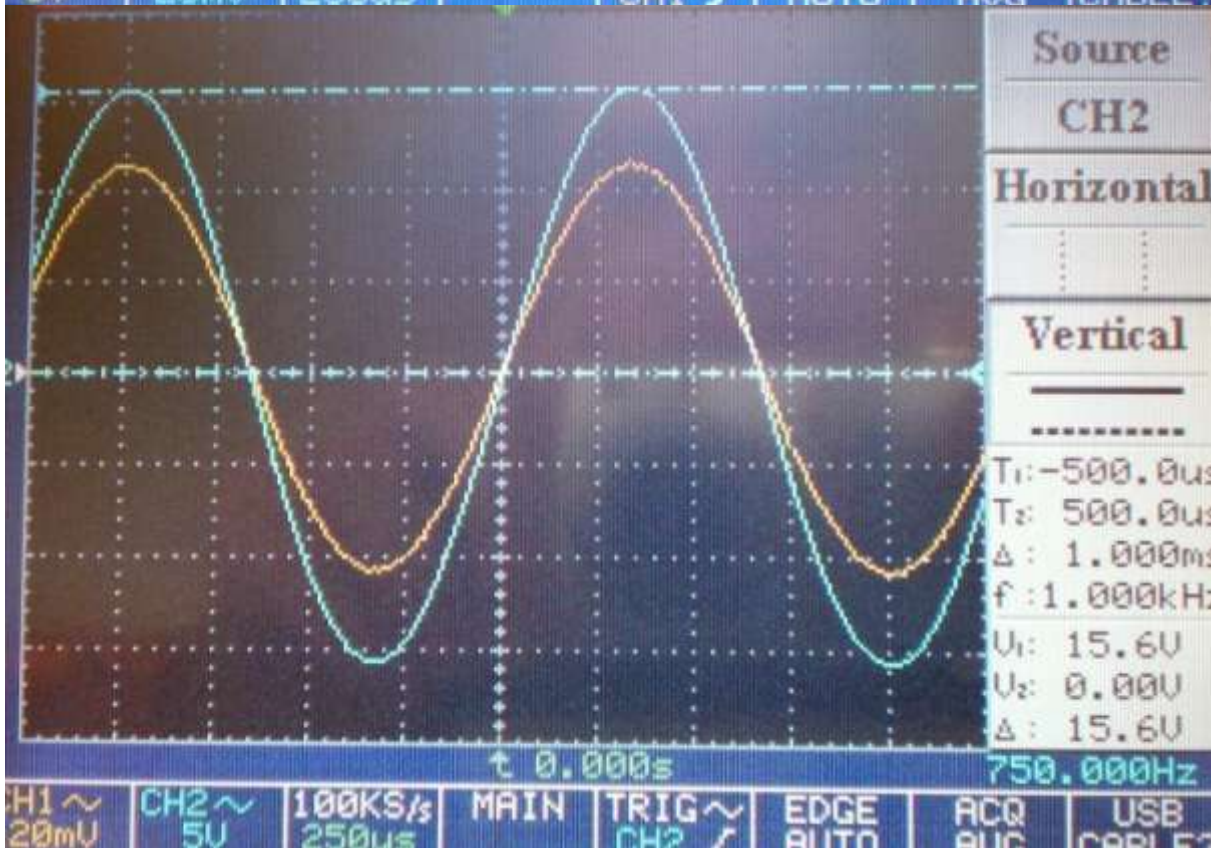
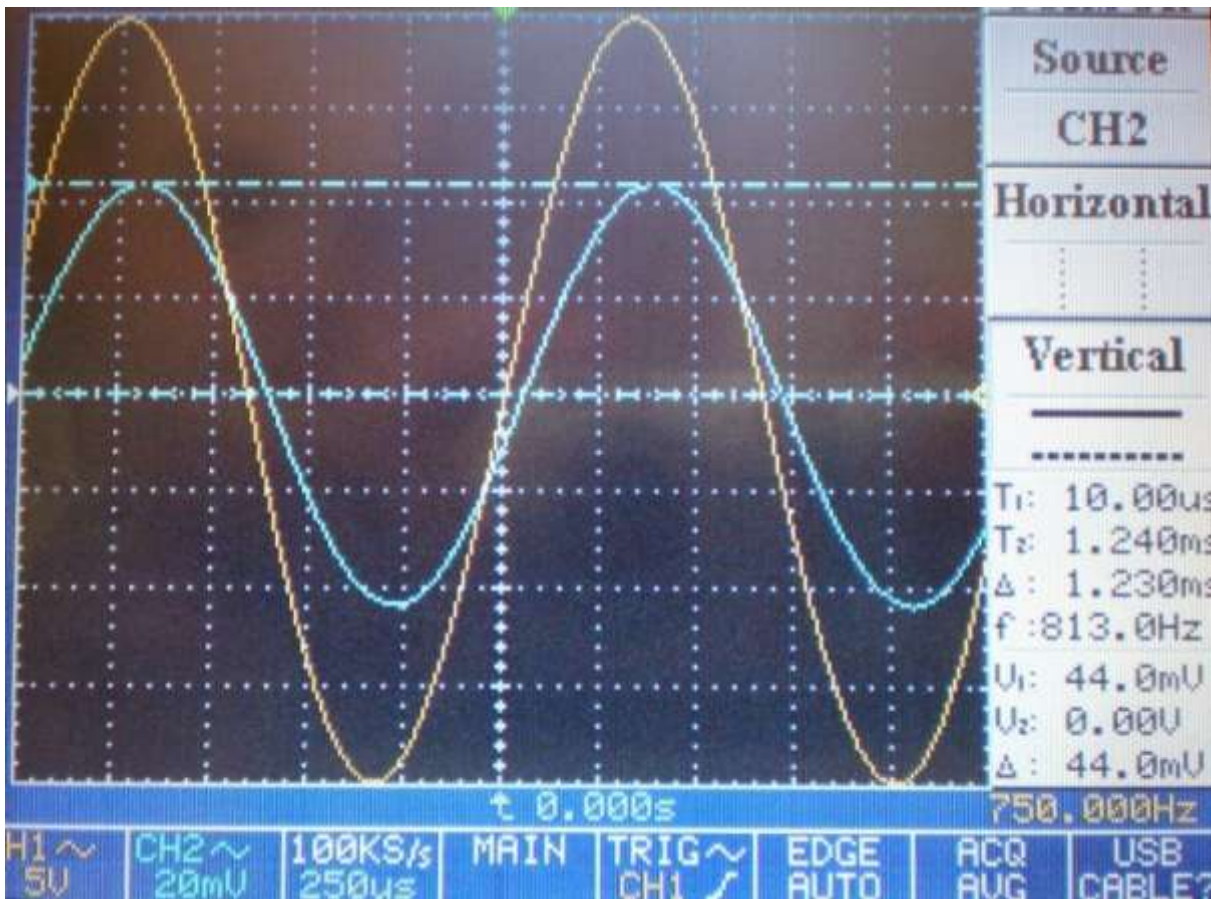
Příloha č. 151 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a jmenovitém zatížení



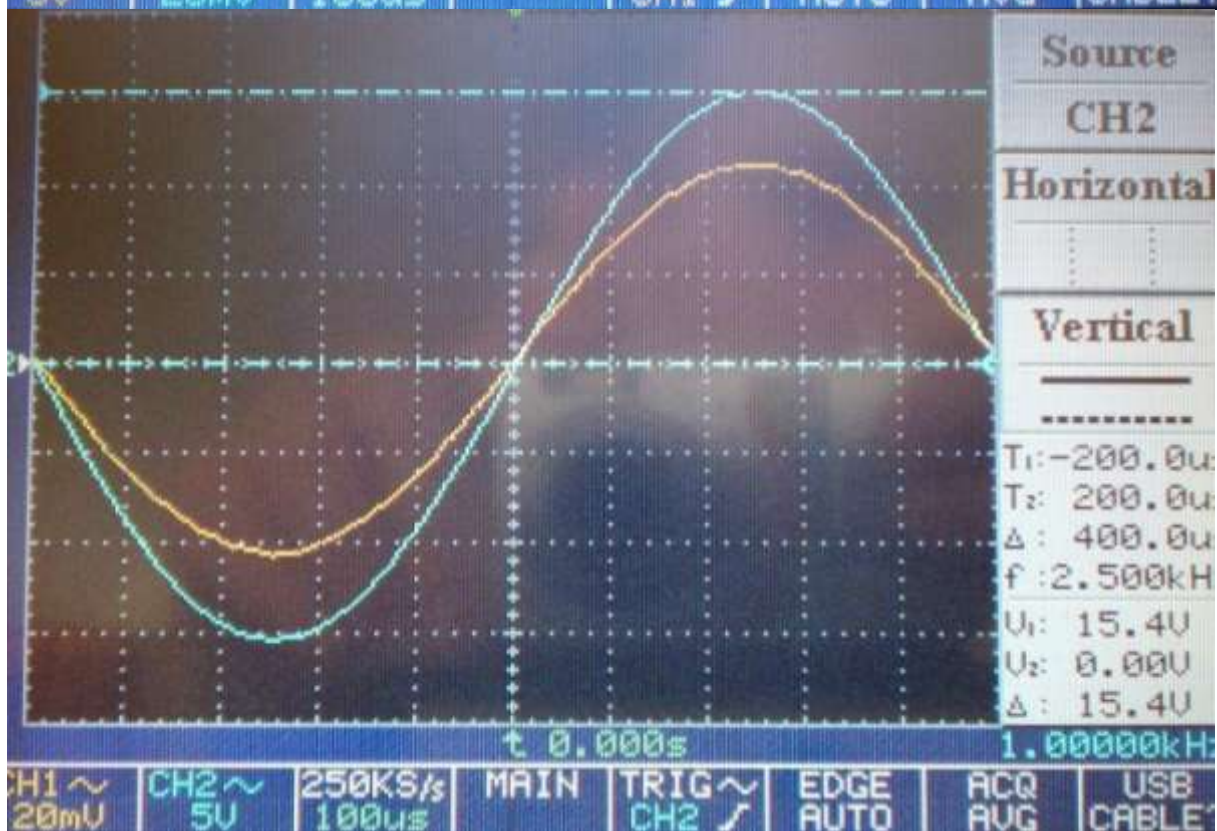
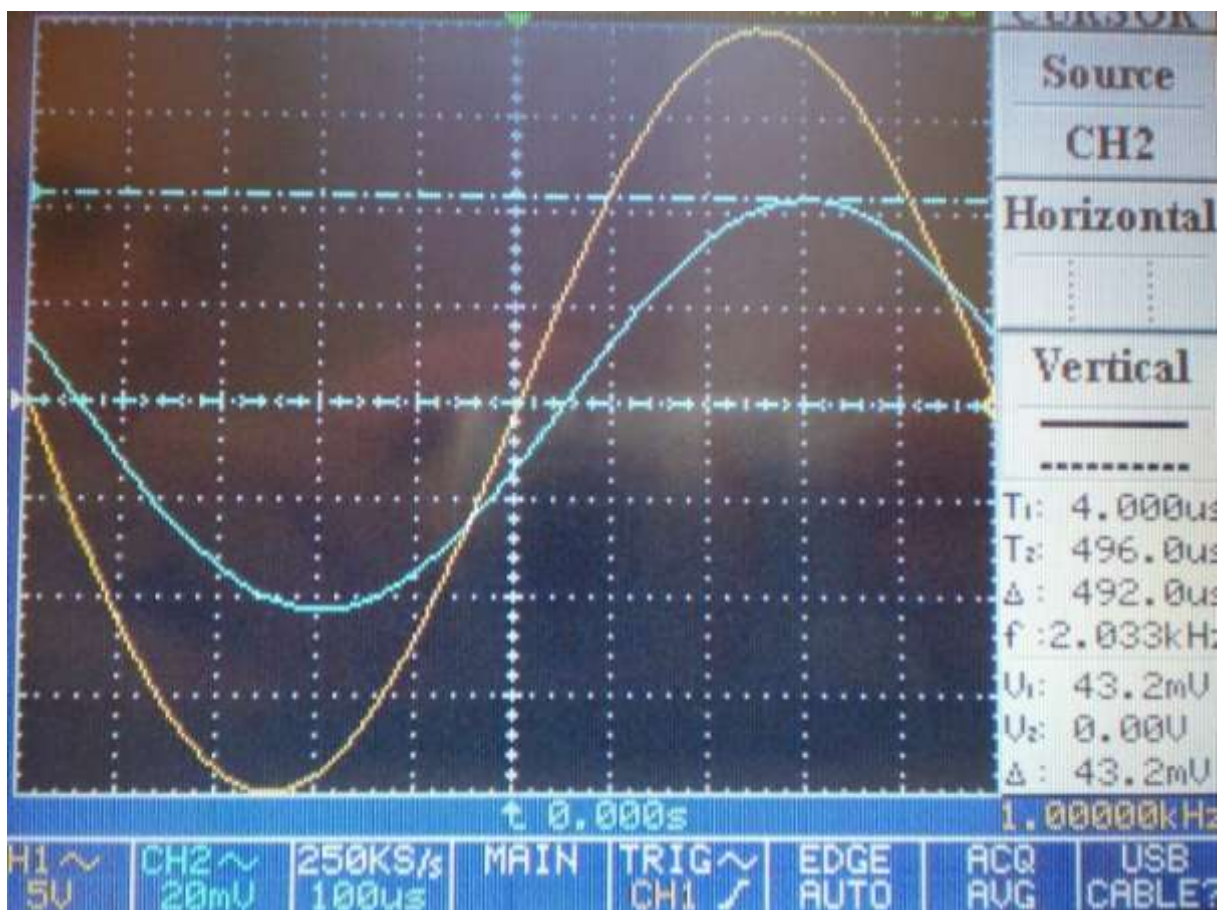
Příloha č. 155 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a jmenovitém zatížení



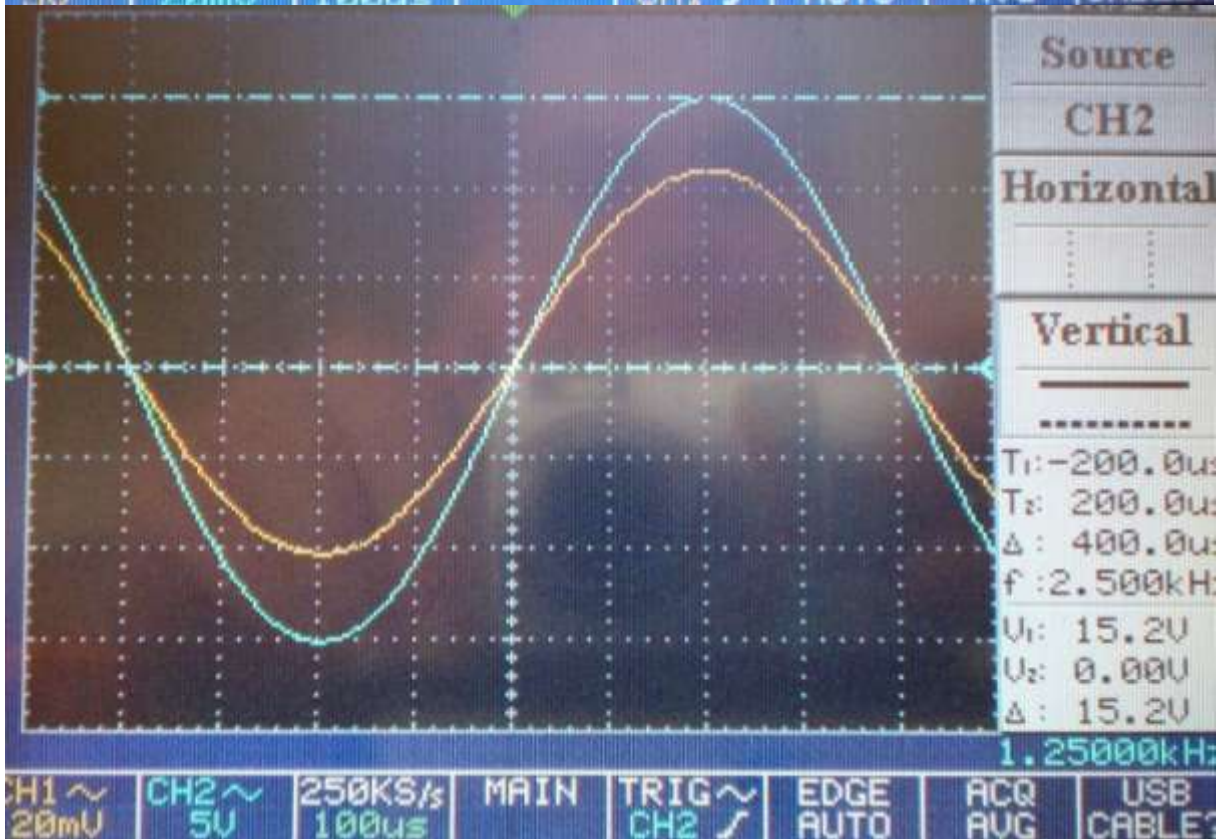
Příloha č. 160 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 500Hz a jmenovitém zatížení



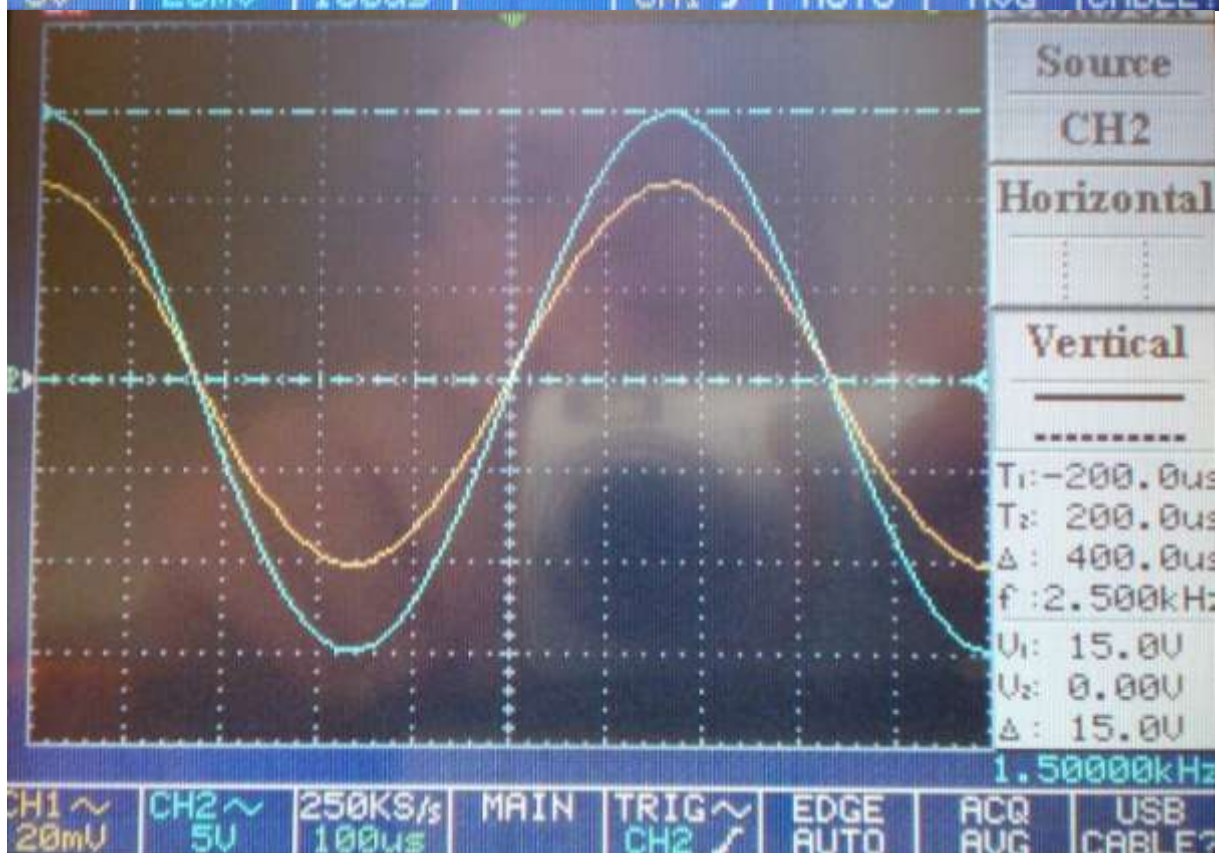
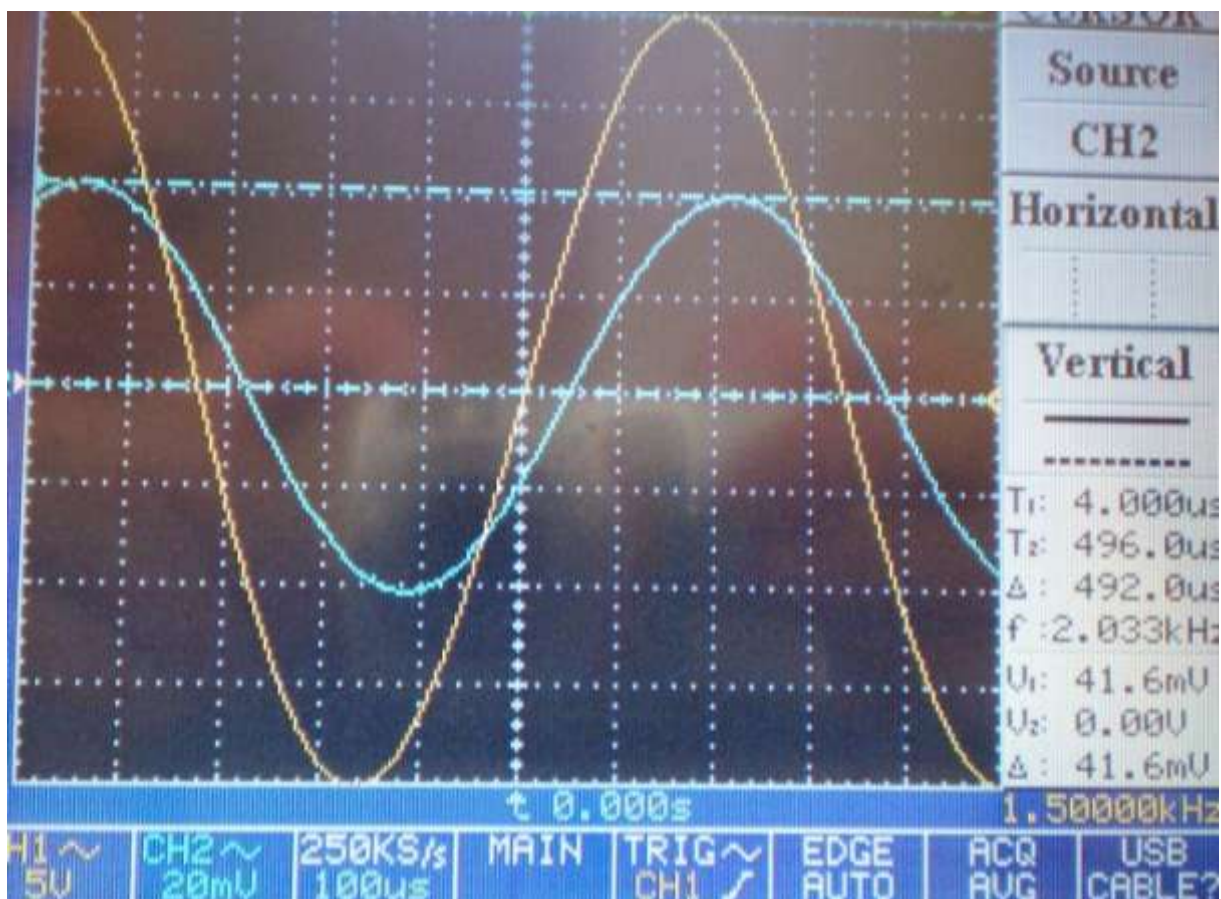
Příloha č. 165 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 750Hz a jmenovitém zatížení



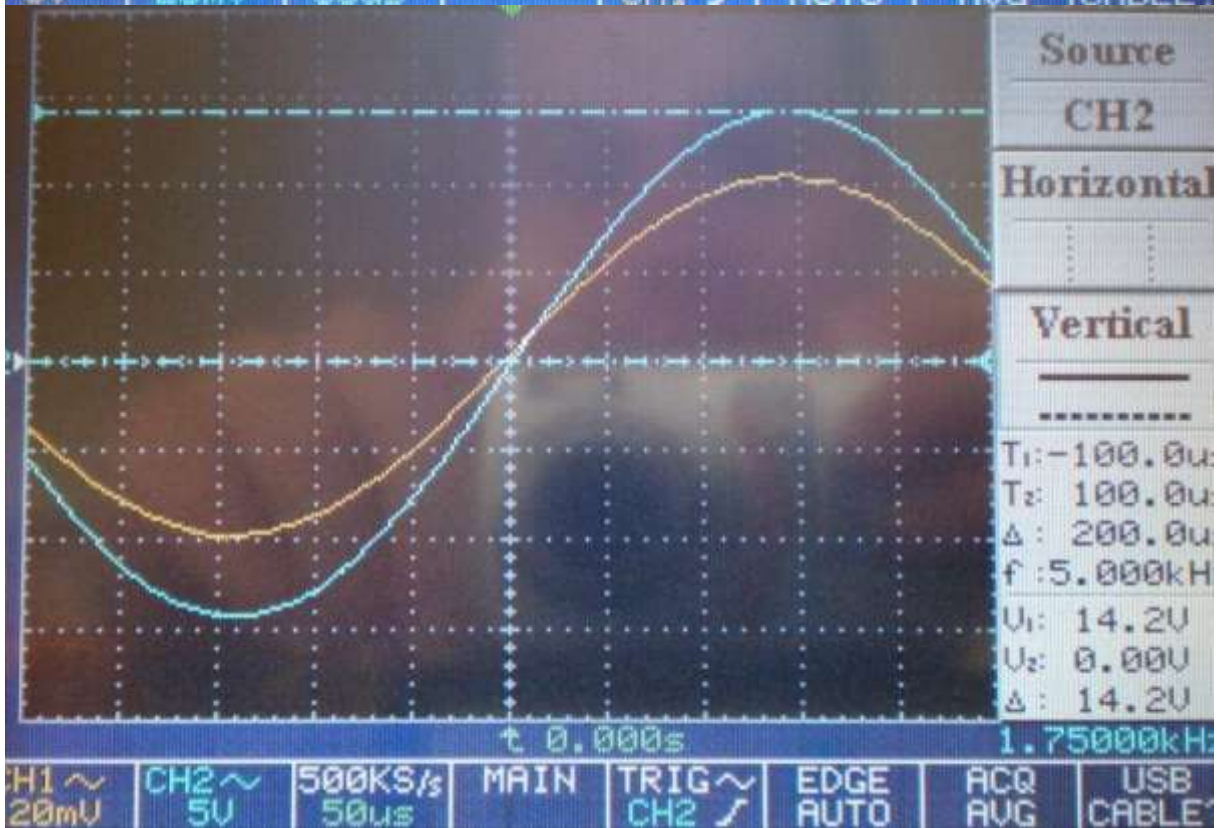
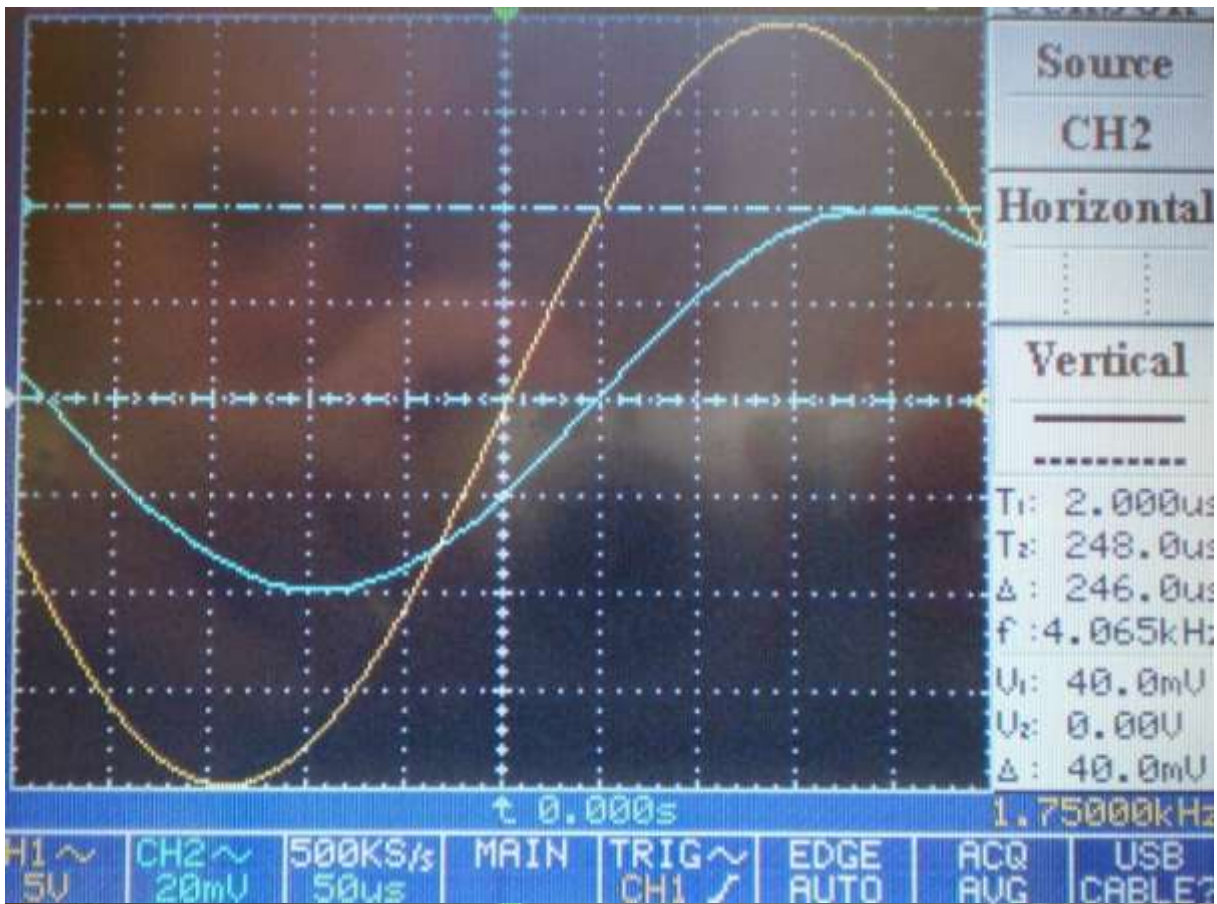
Příloha č. 170 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a jmenovitém zatížení



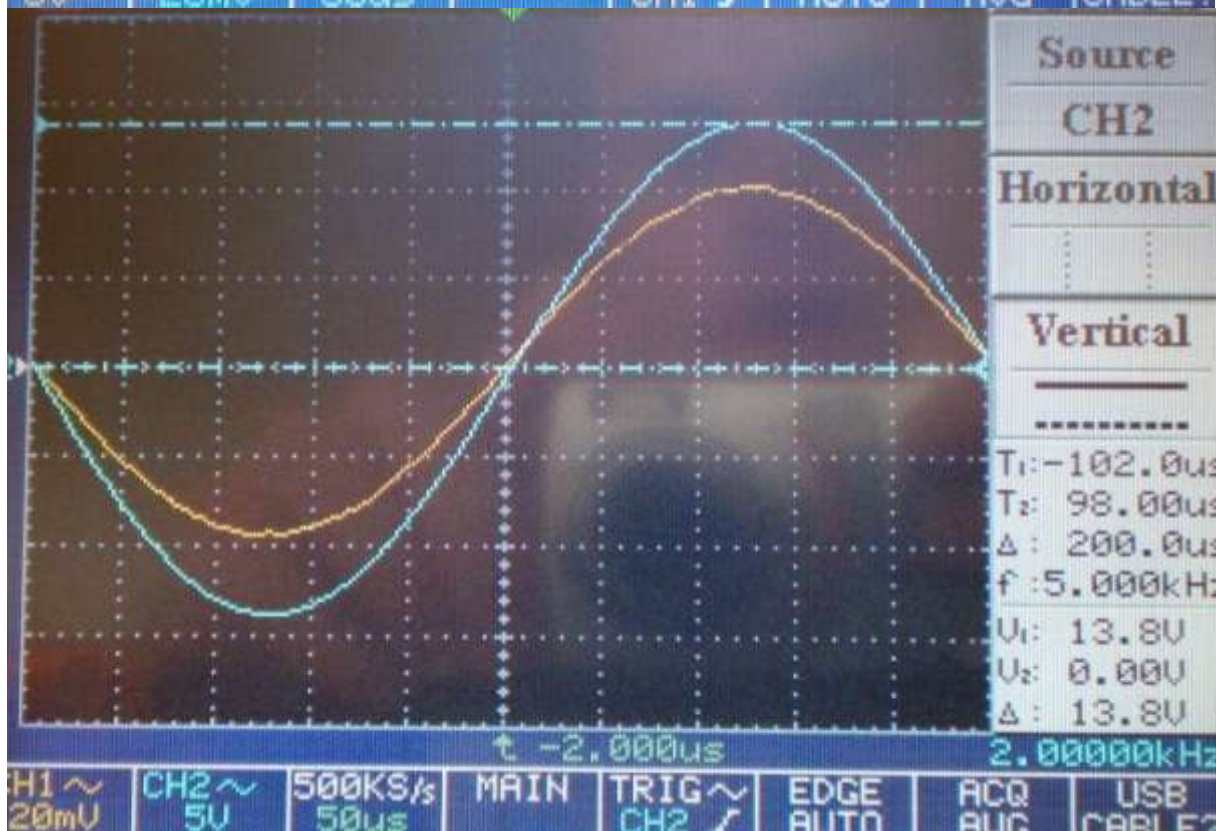
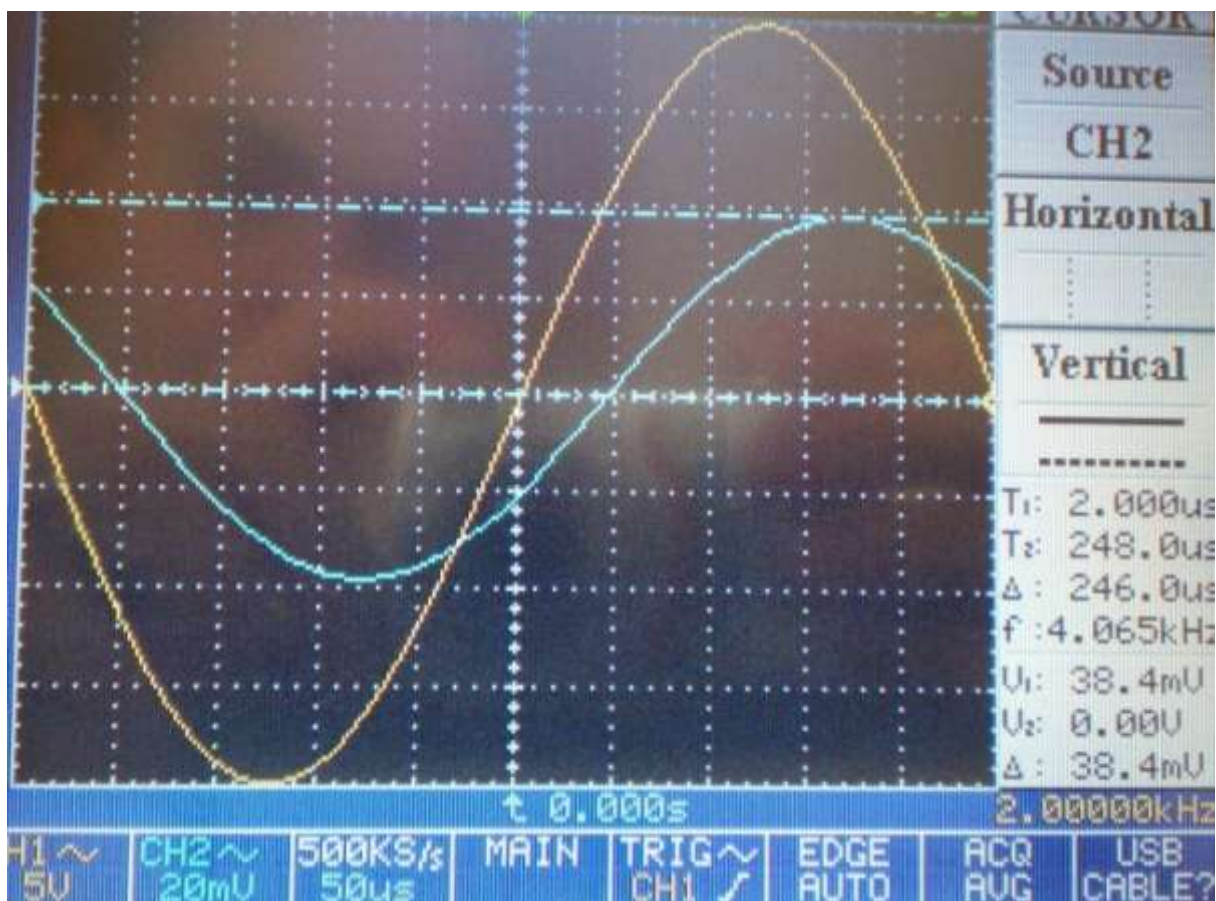
Příloha č. 175 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a jmenovitém zatížení



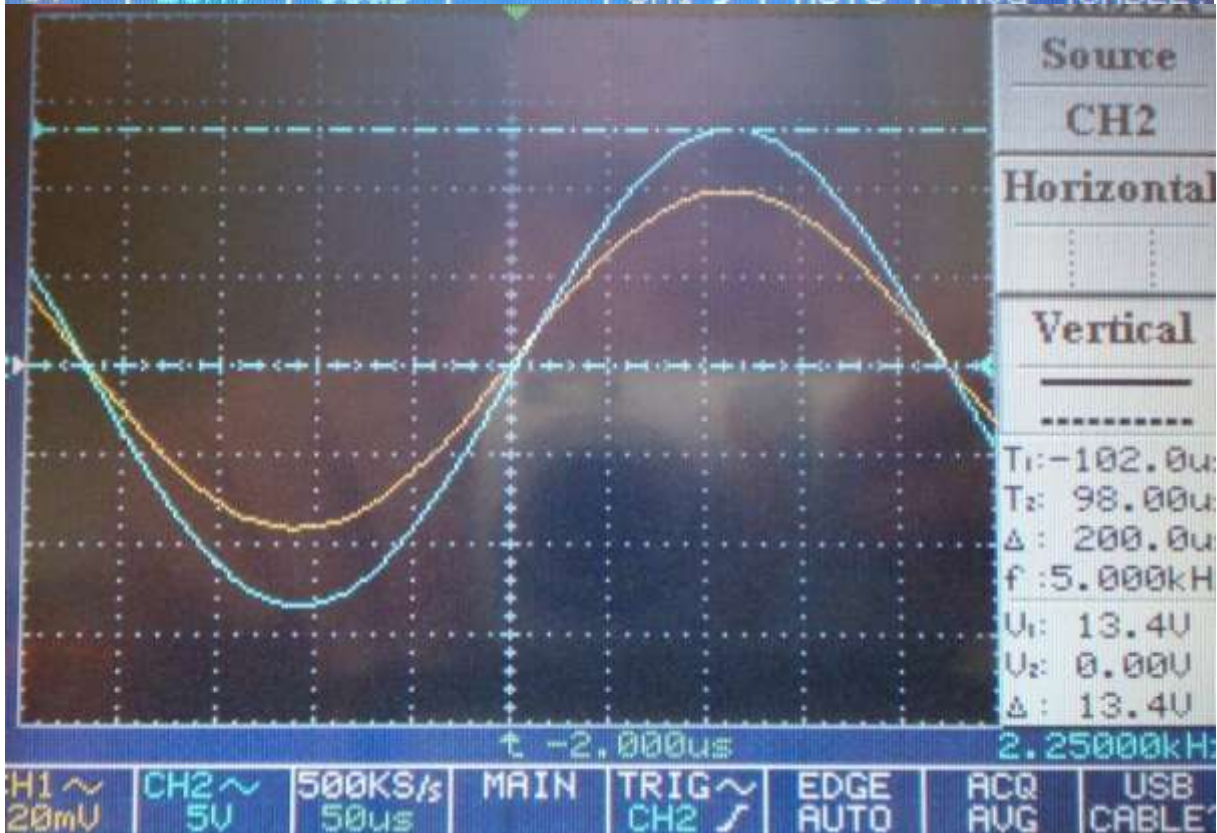
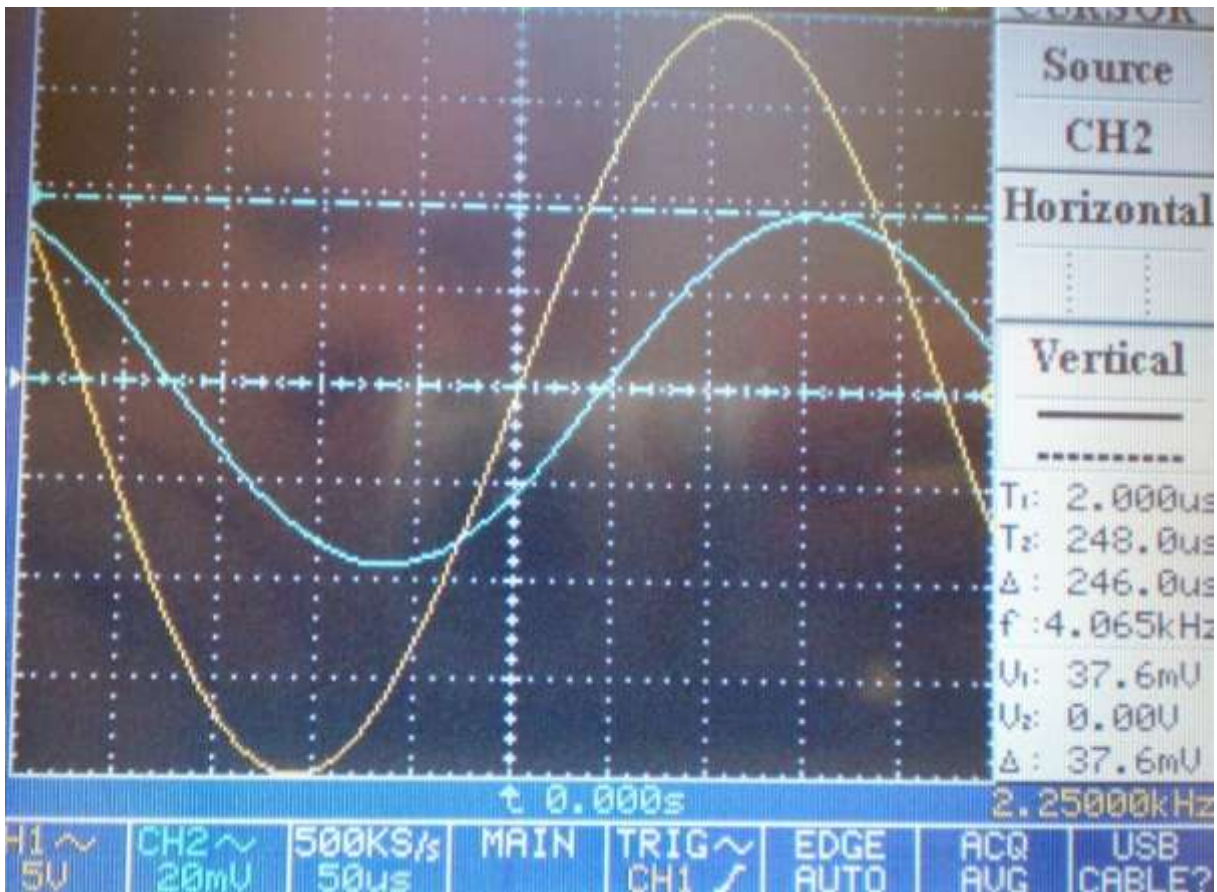
Příloha č. 180 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrytalický plech při 1500Hz a jmenovitém zatížení



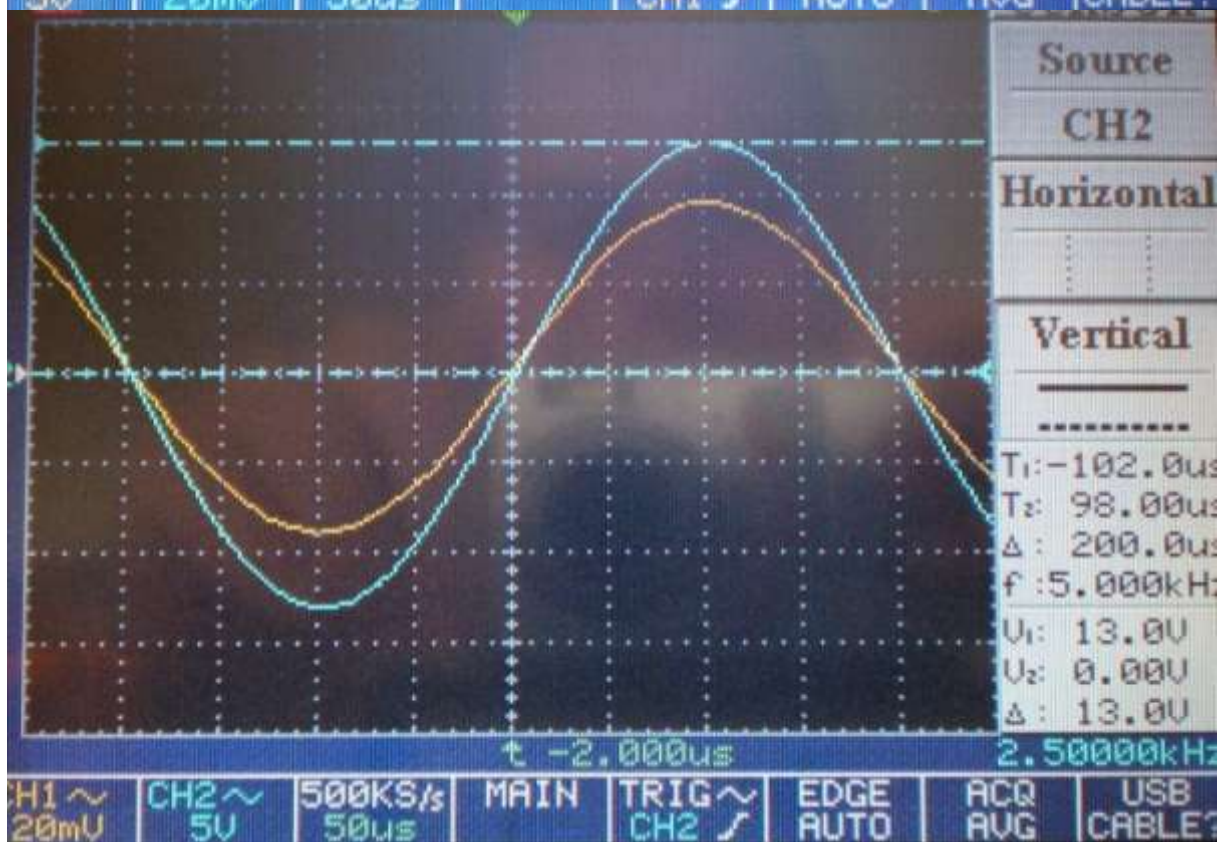
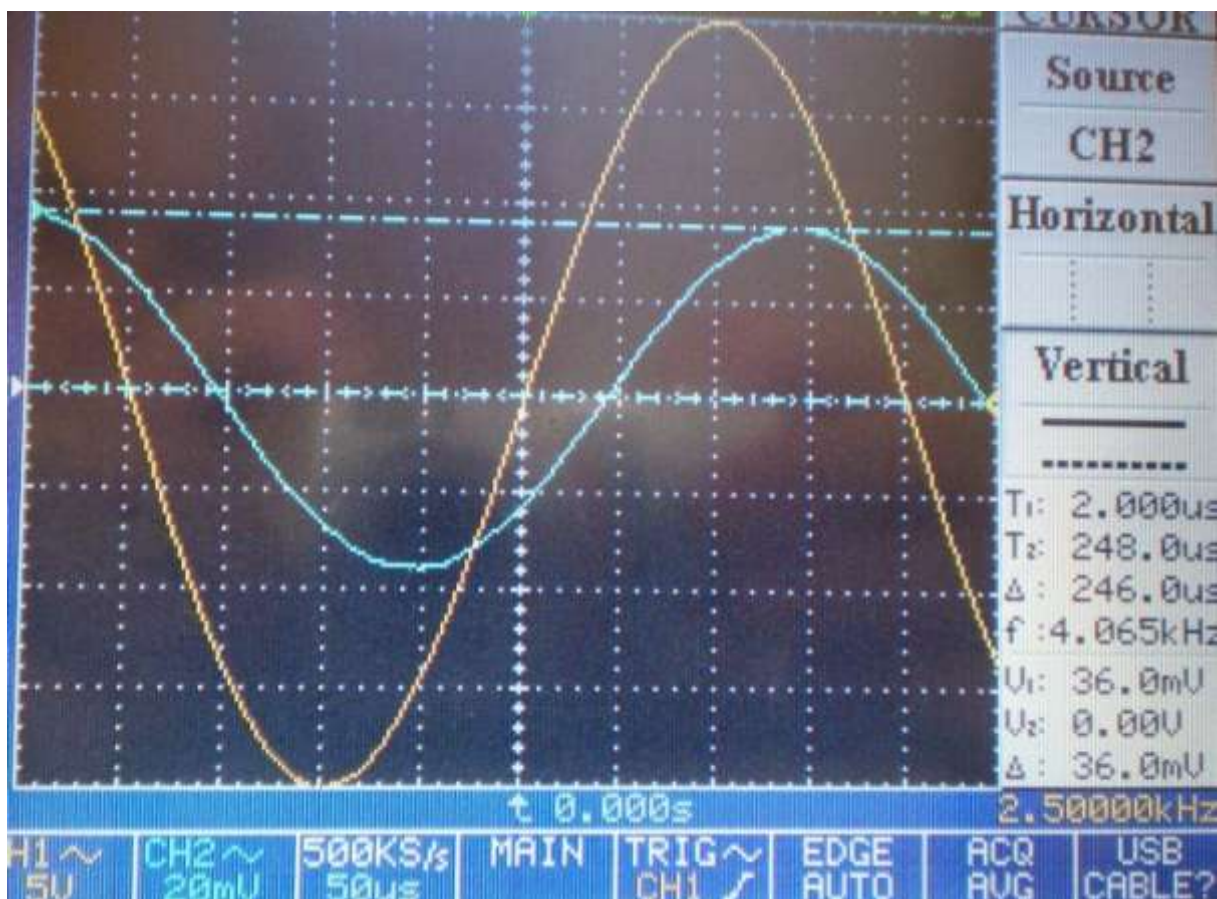
Příloha č. 185 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1750Hz a jmenovitém zatížení



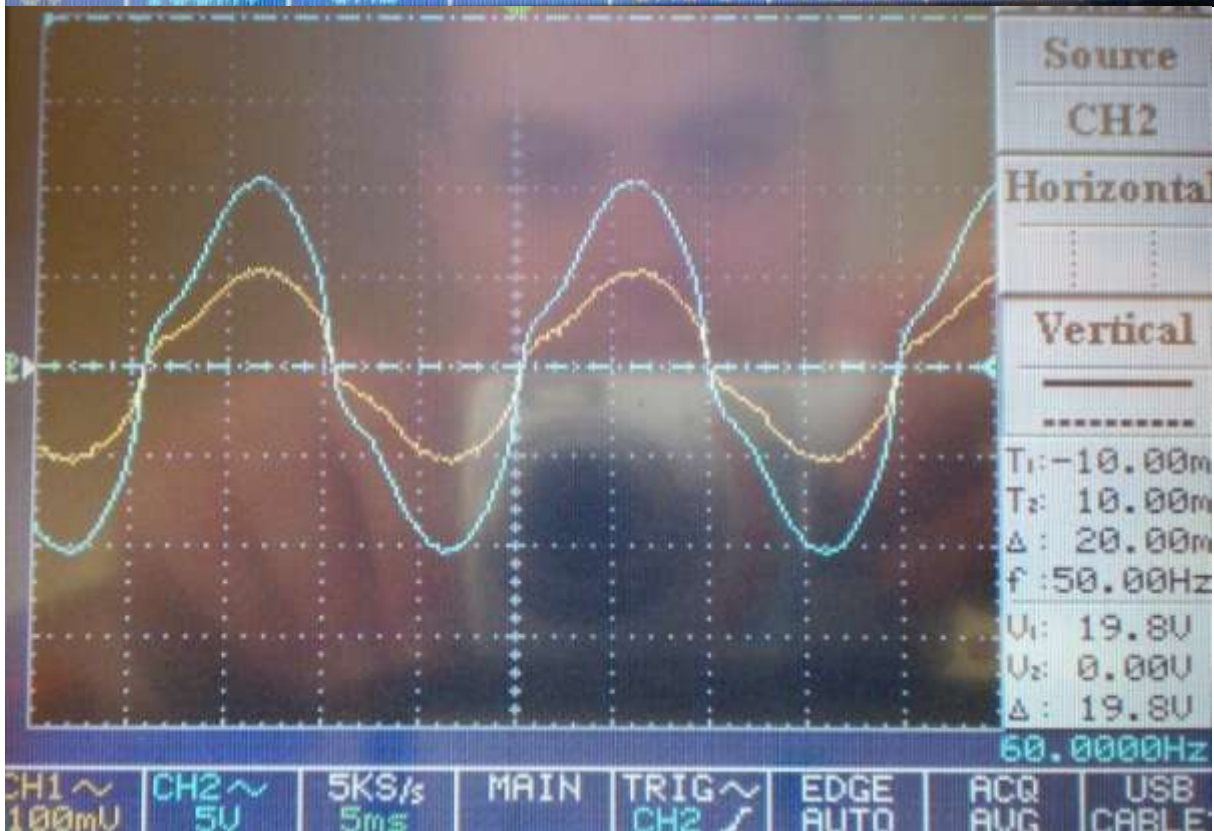
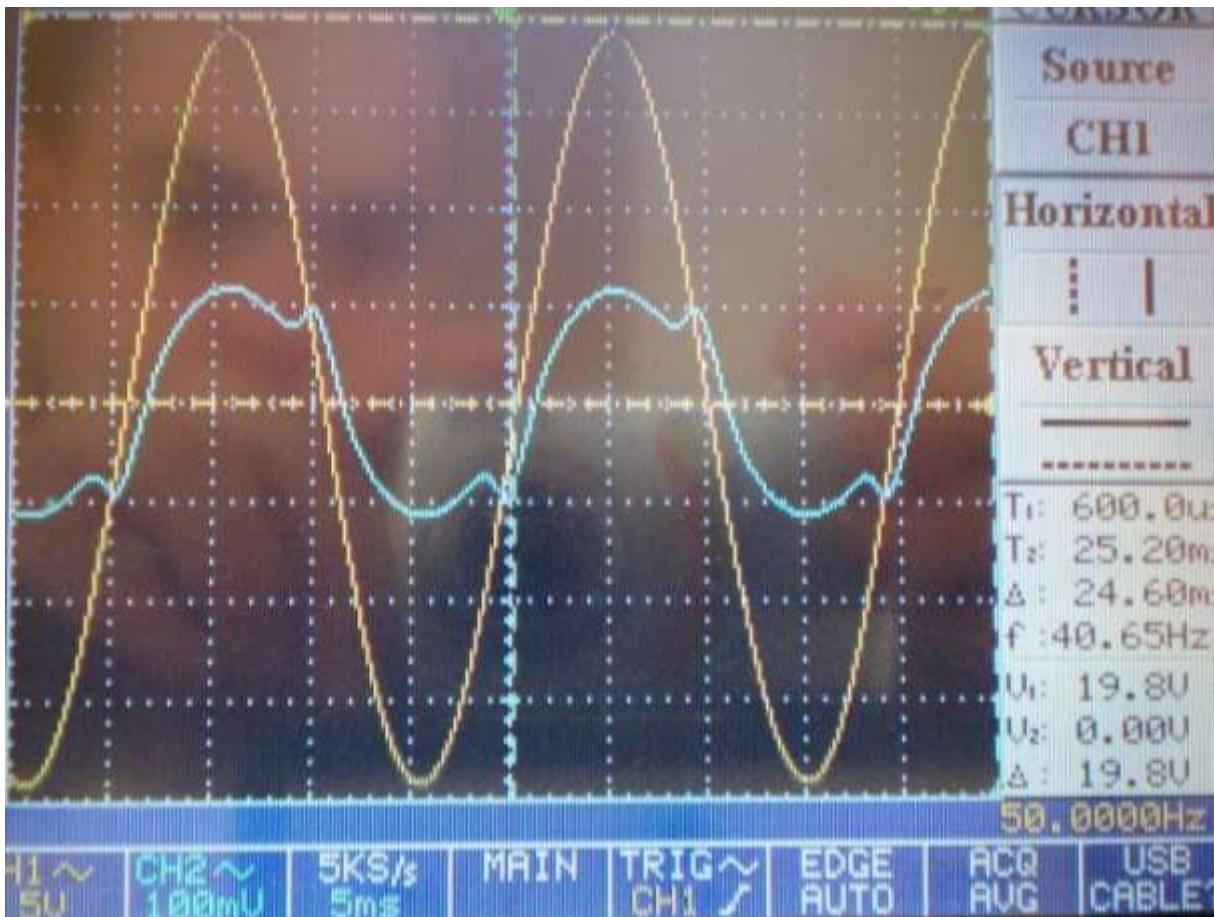
Příloha č. 190 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2000Hz a jmenovitém zatížení



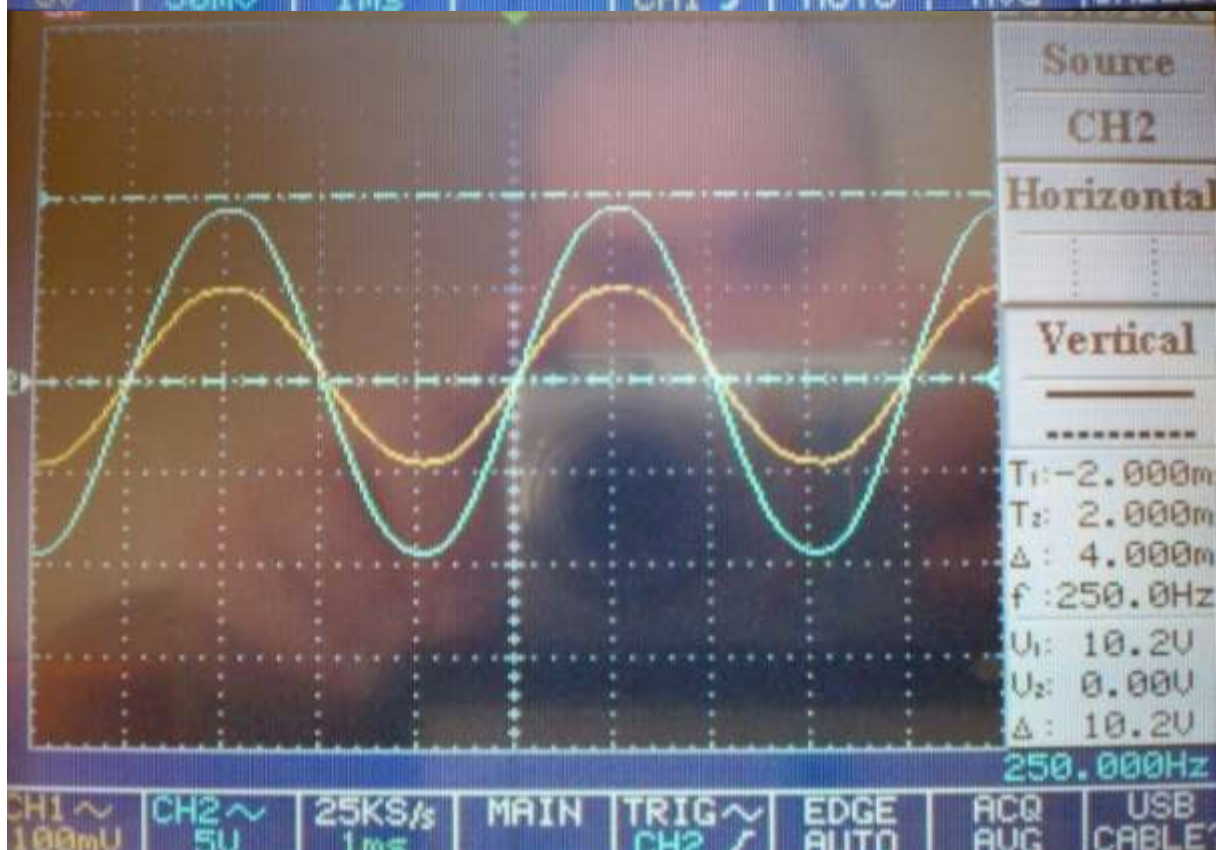
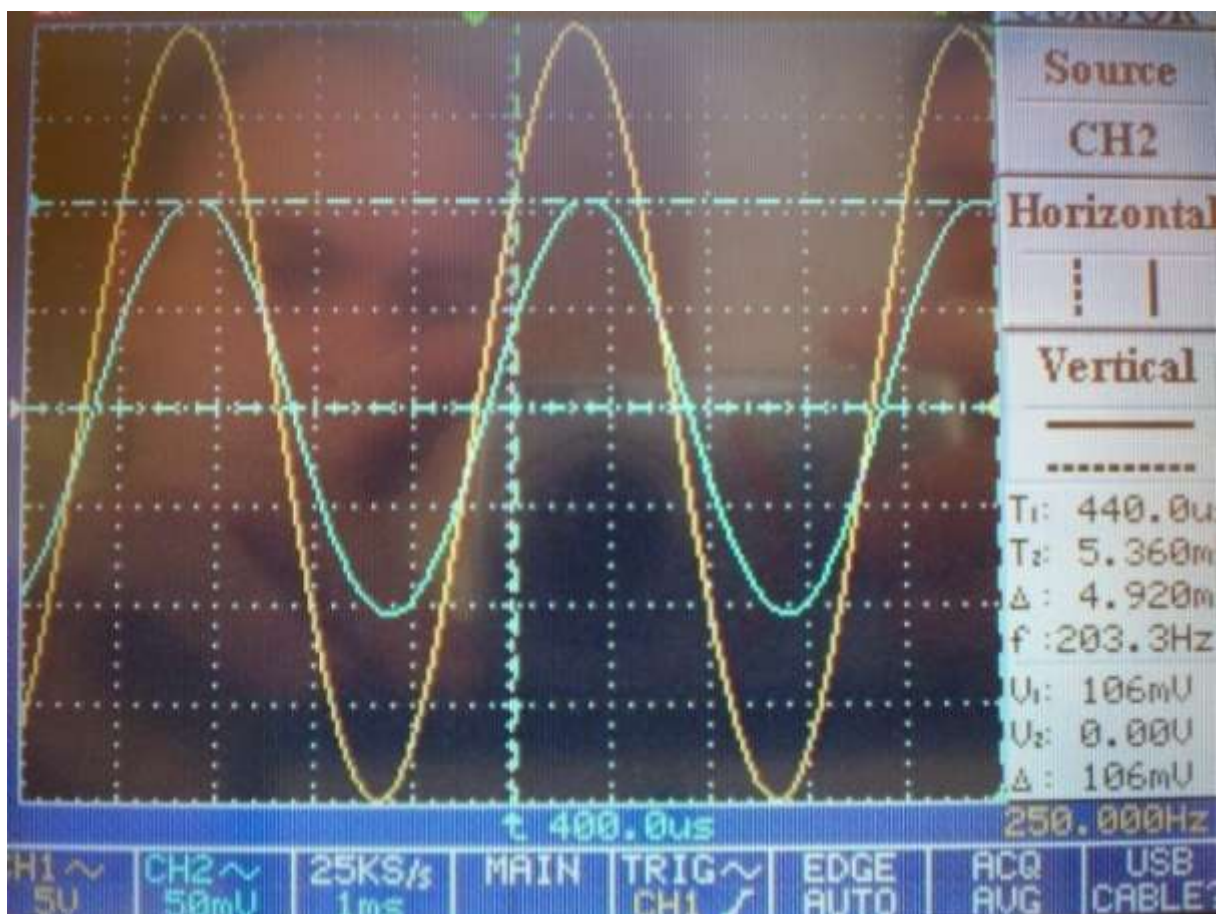
Příloha č. 195 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2250Hz a jmenovitém zatížení



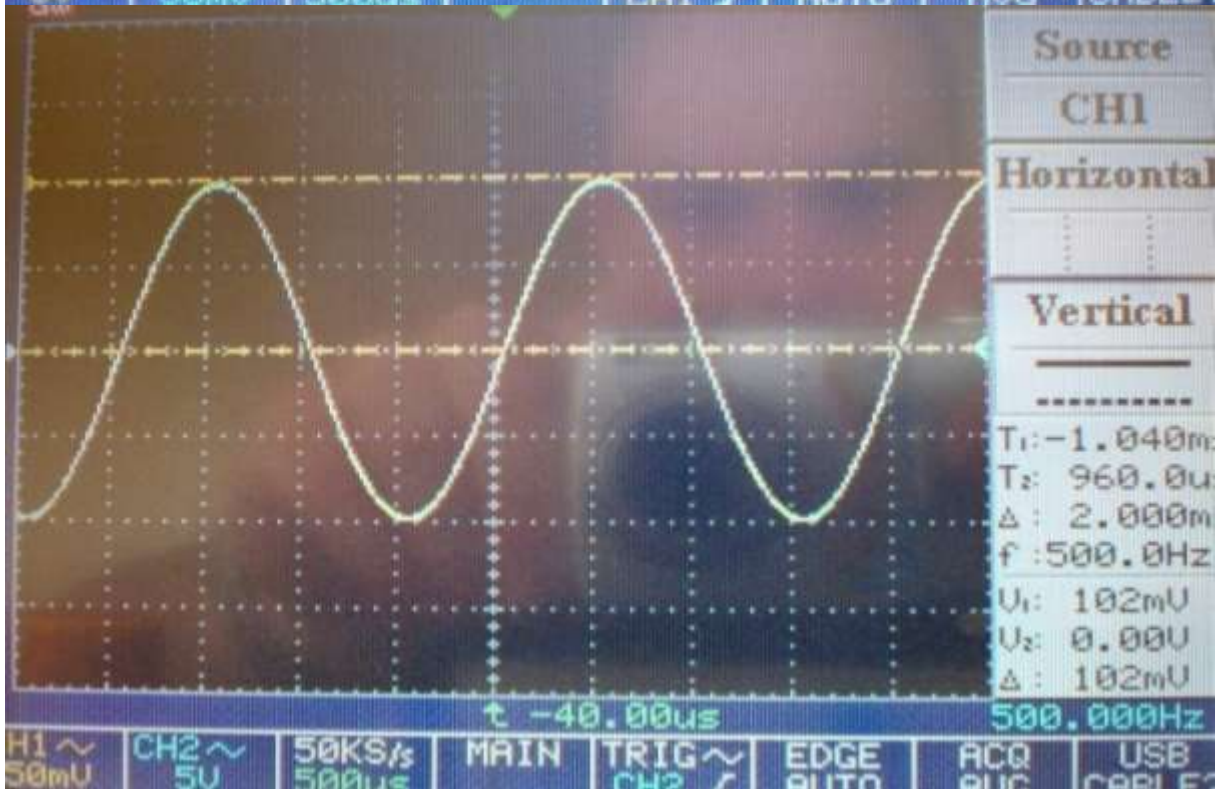
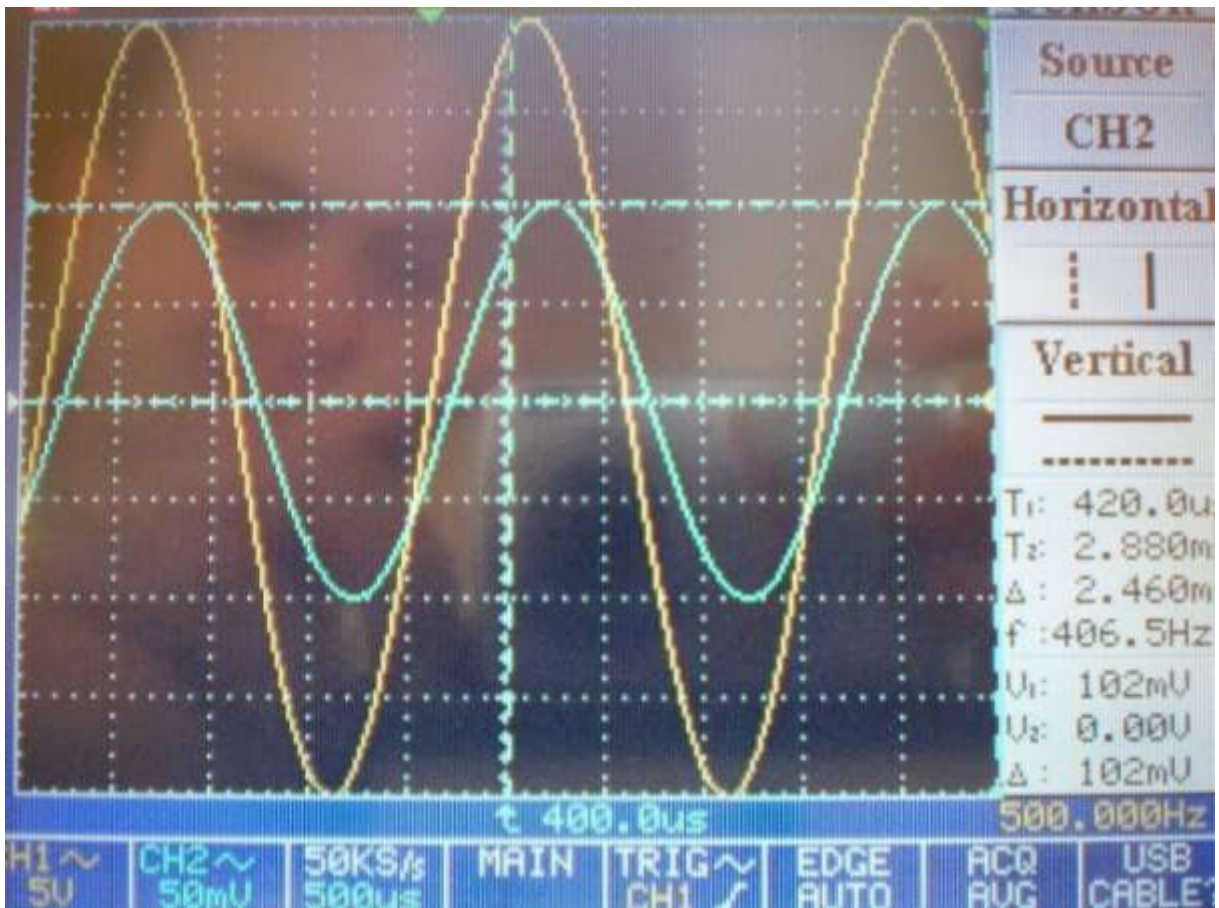
Příloha č. 200 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2500Hz a jmenovitém zatížení



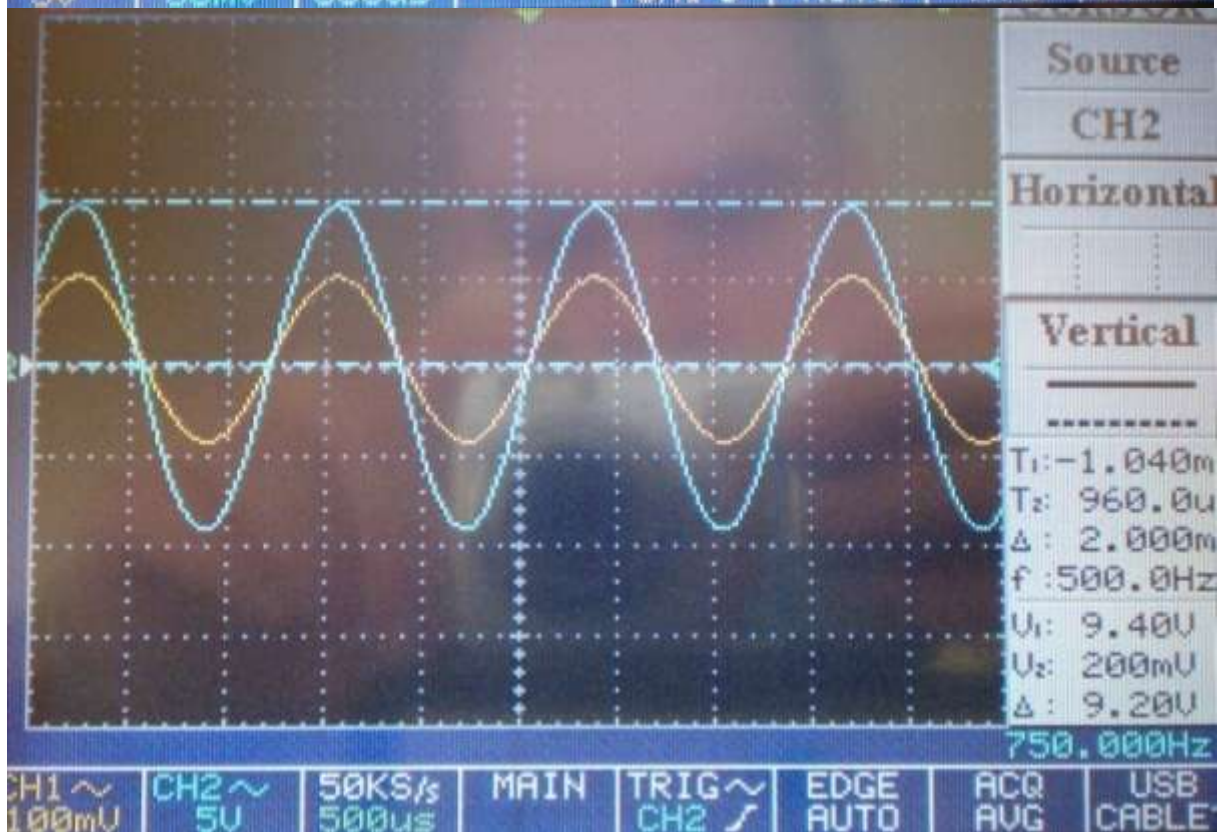
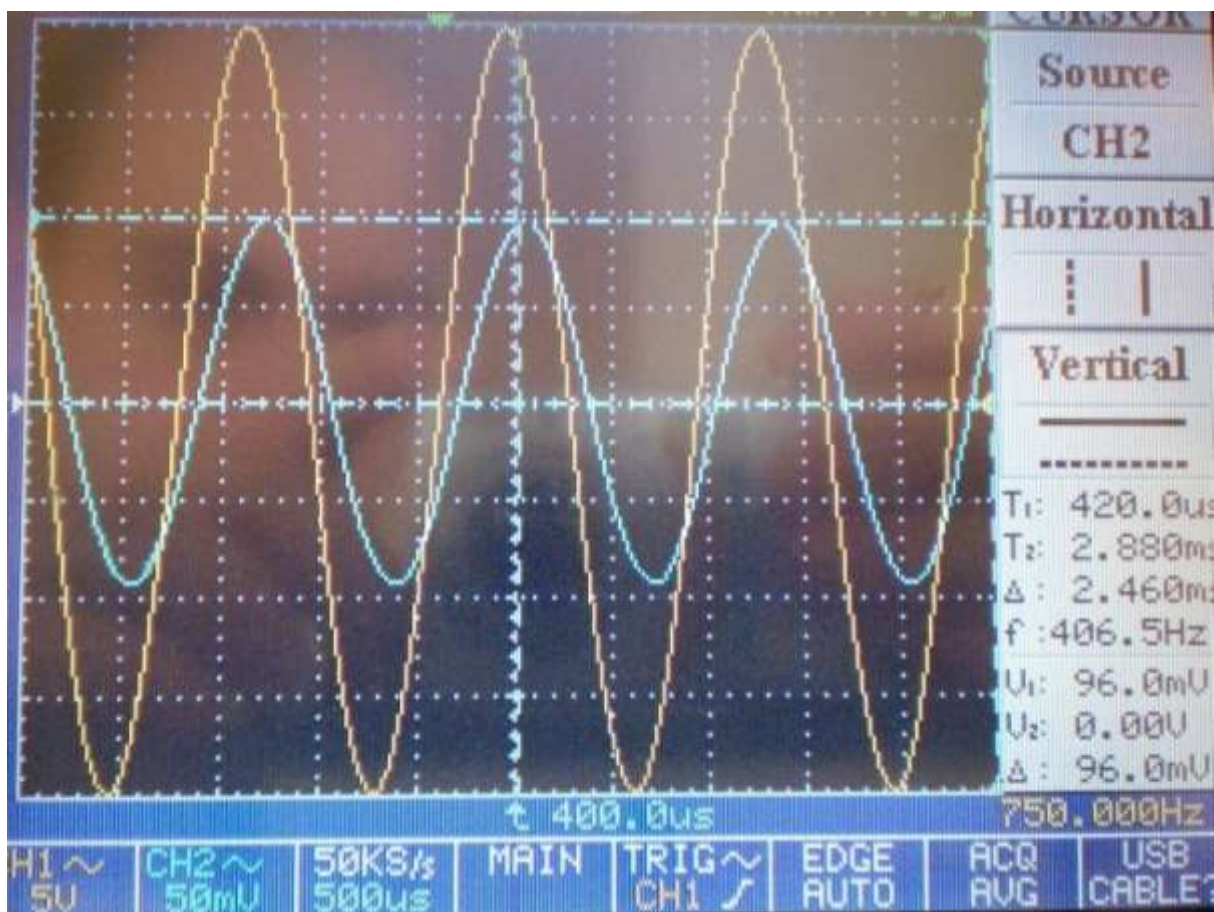
Příloha č. 201 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 50Hz a 200% zatížení



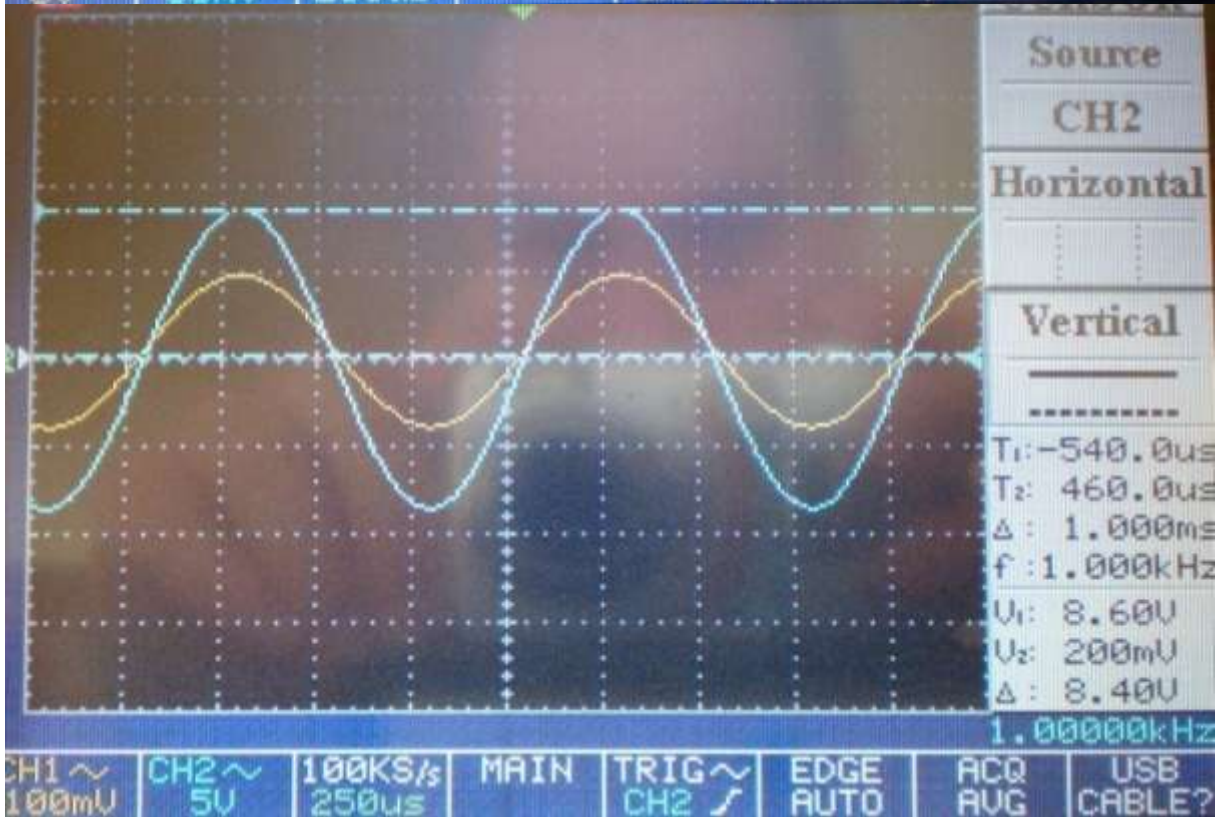
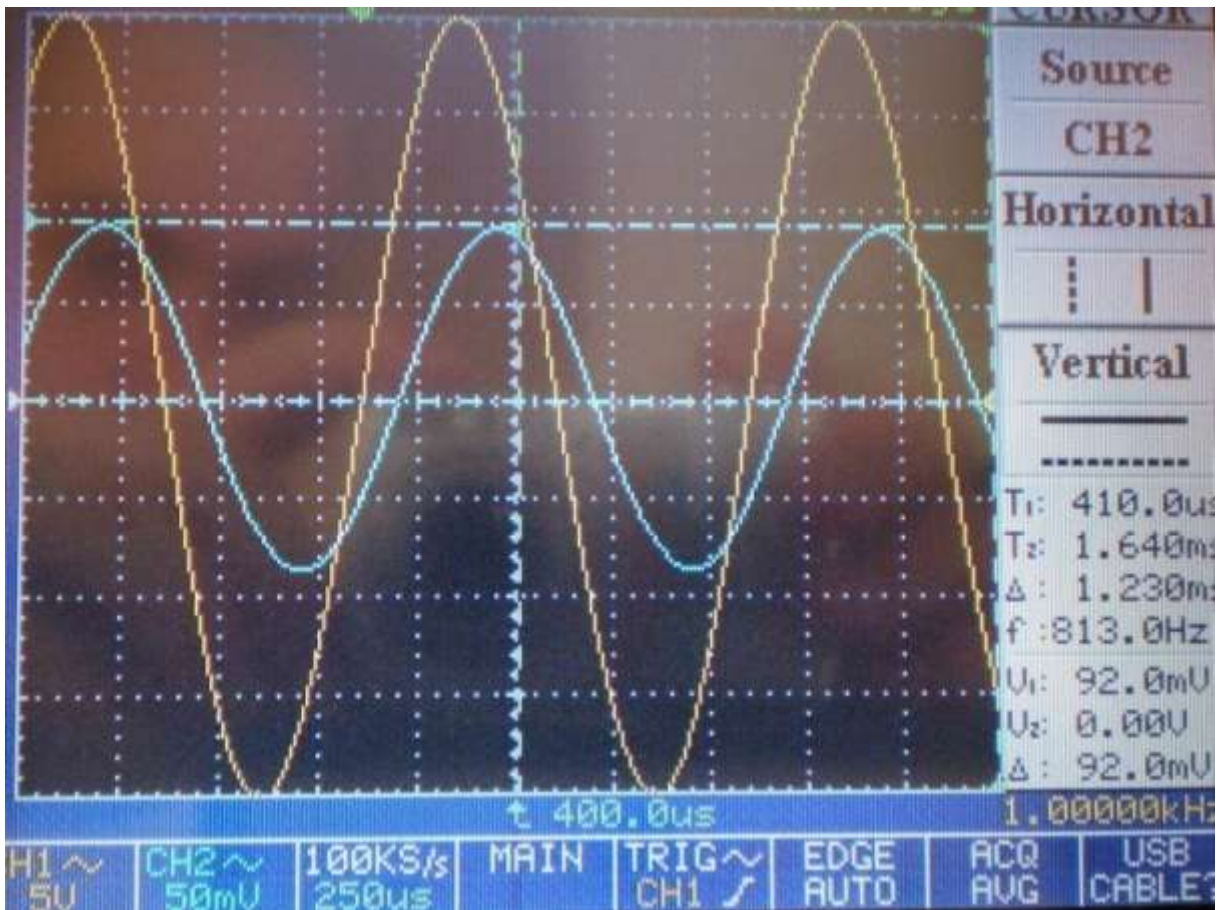
Příloha č. 205 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 250Hz a 200% zatížení



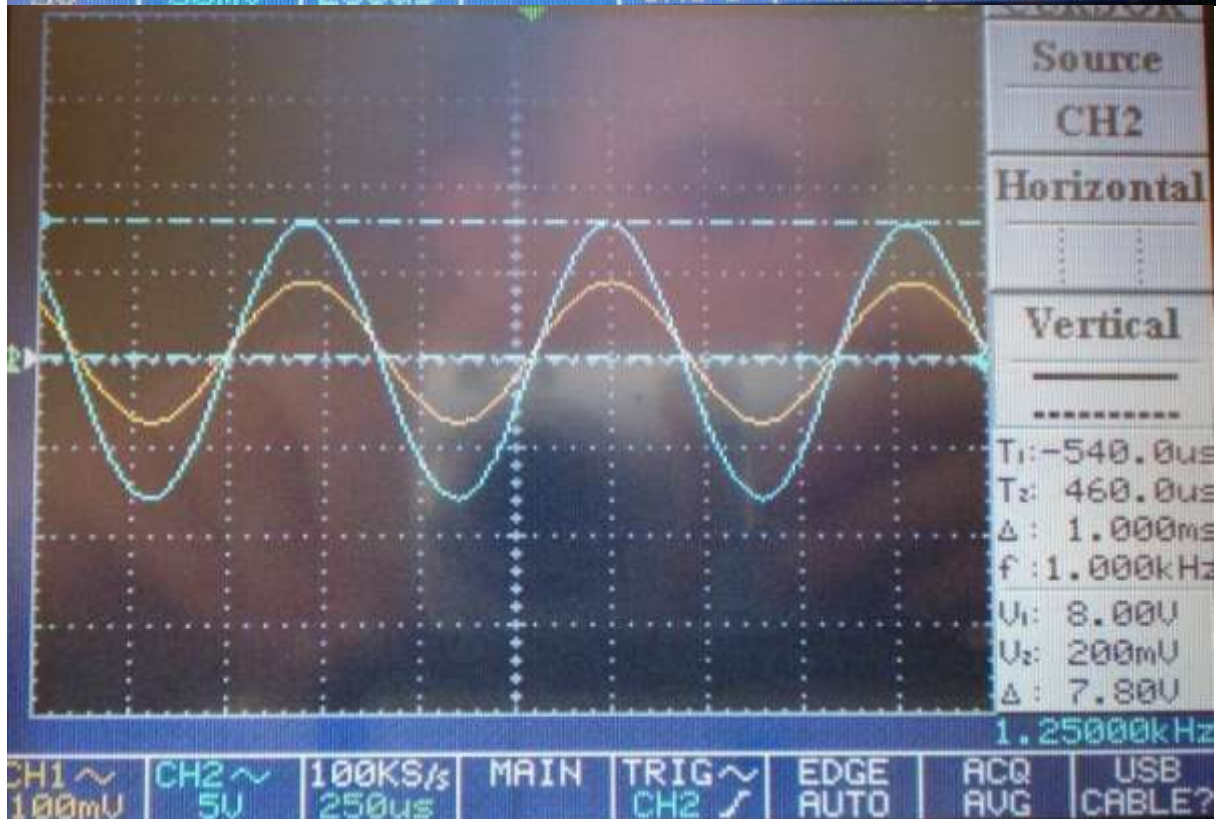
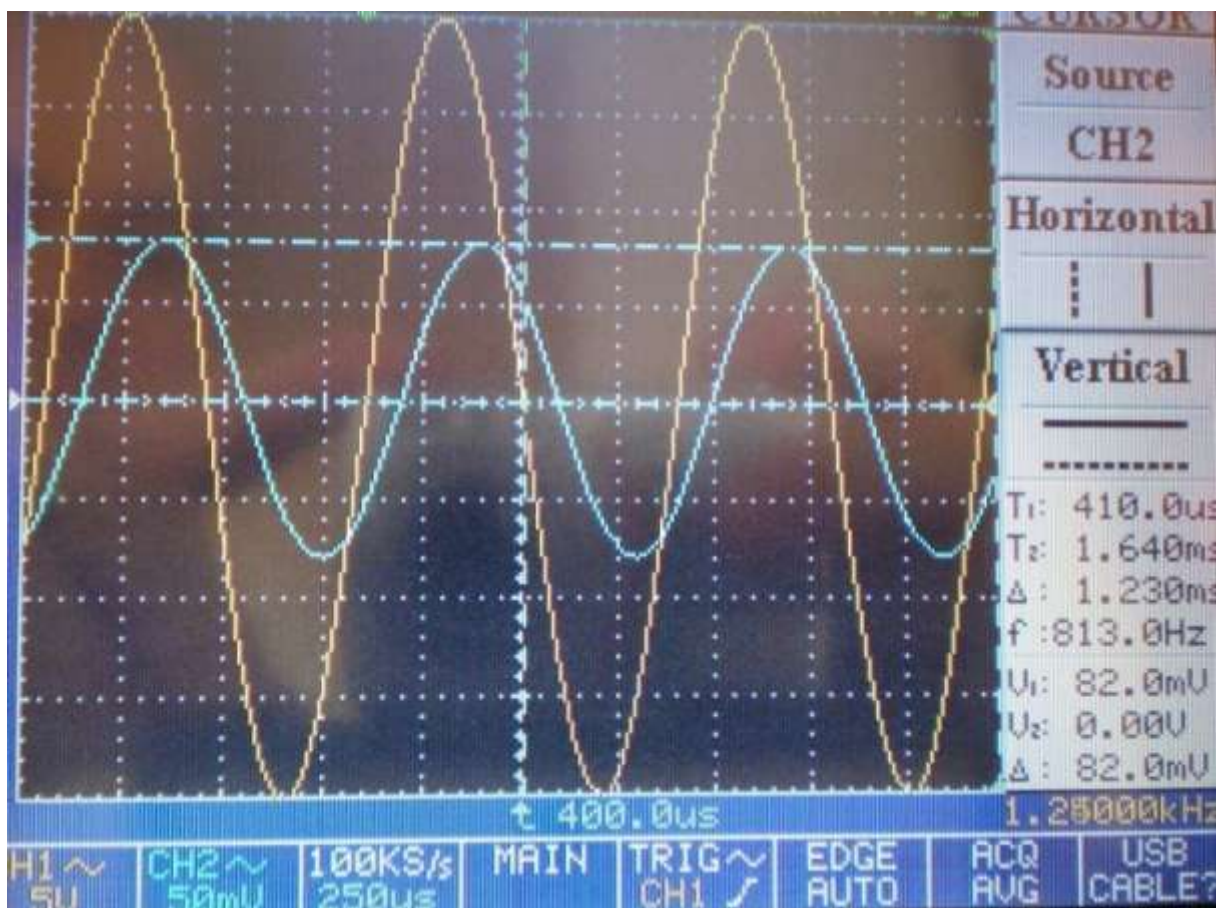
Příloha č. 210 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 500Hz a 200% zatížení



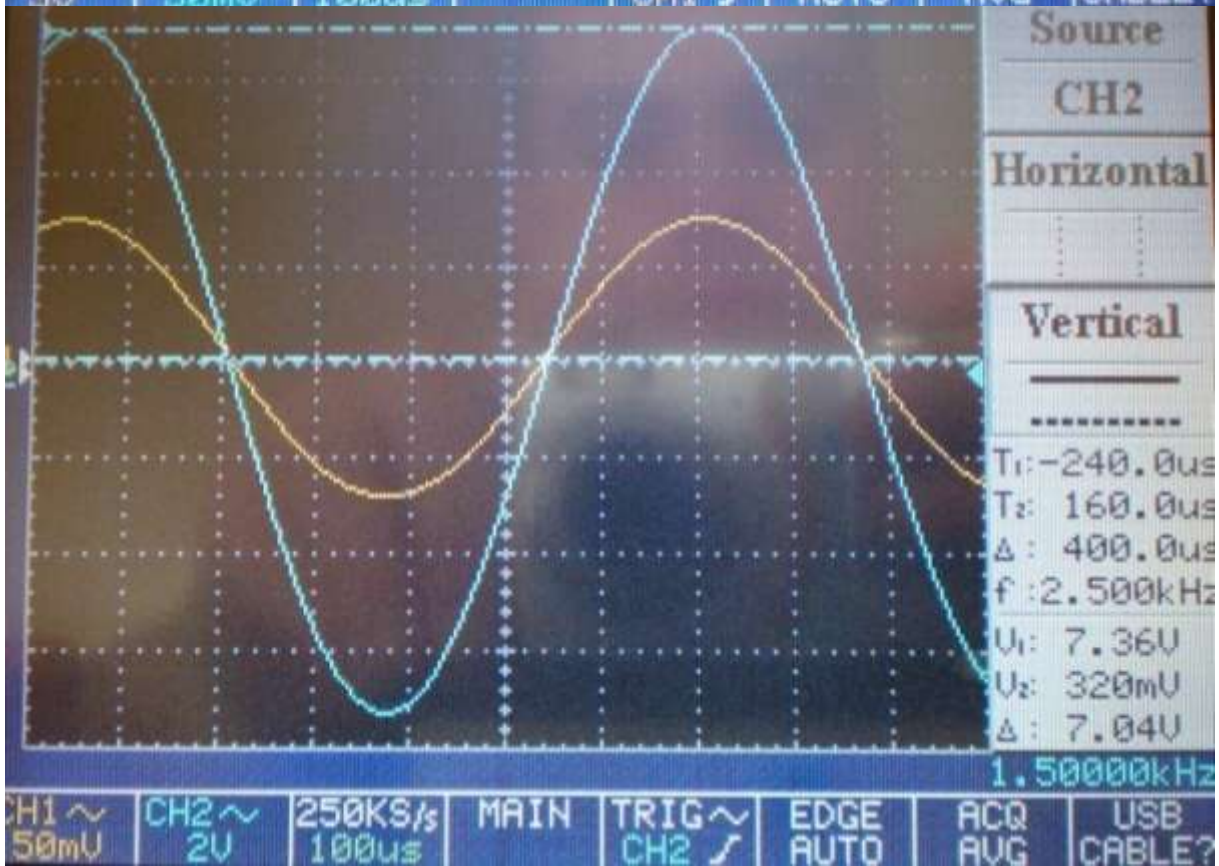
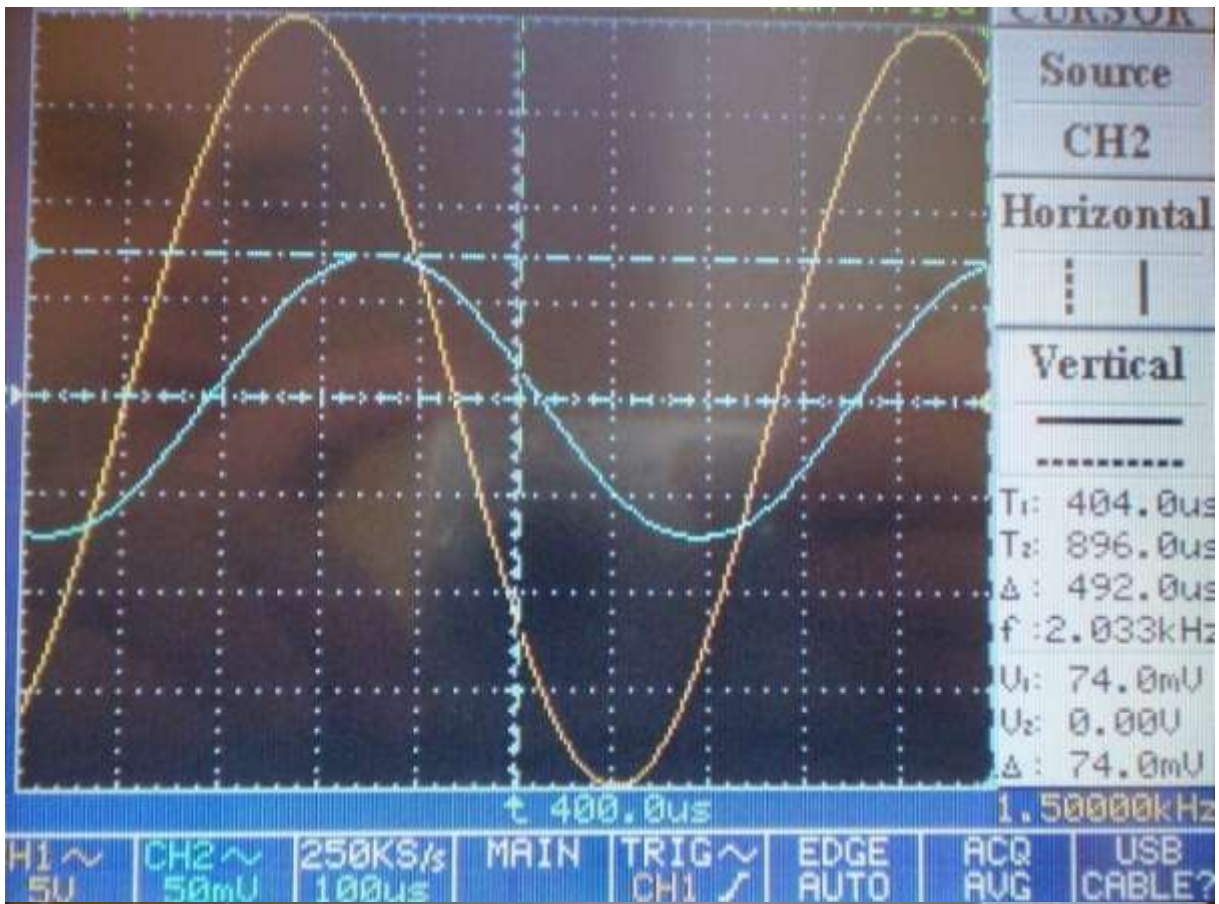
Příloha č. 215 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 750Hz a 200% zatížení



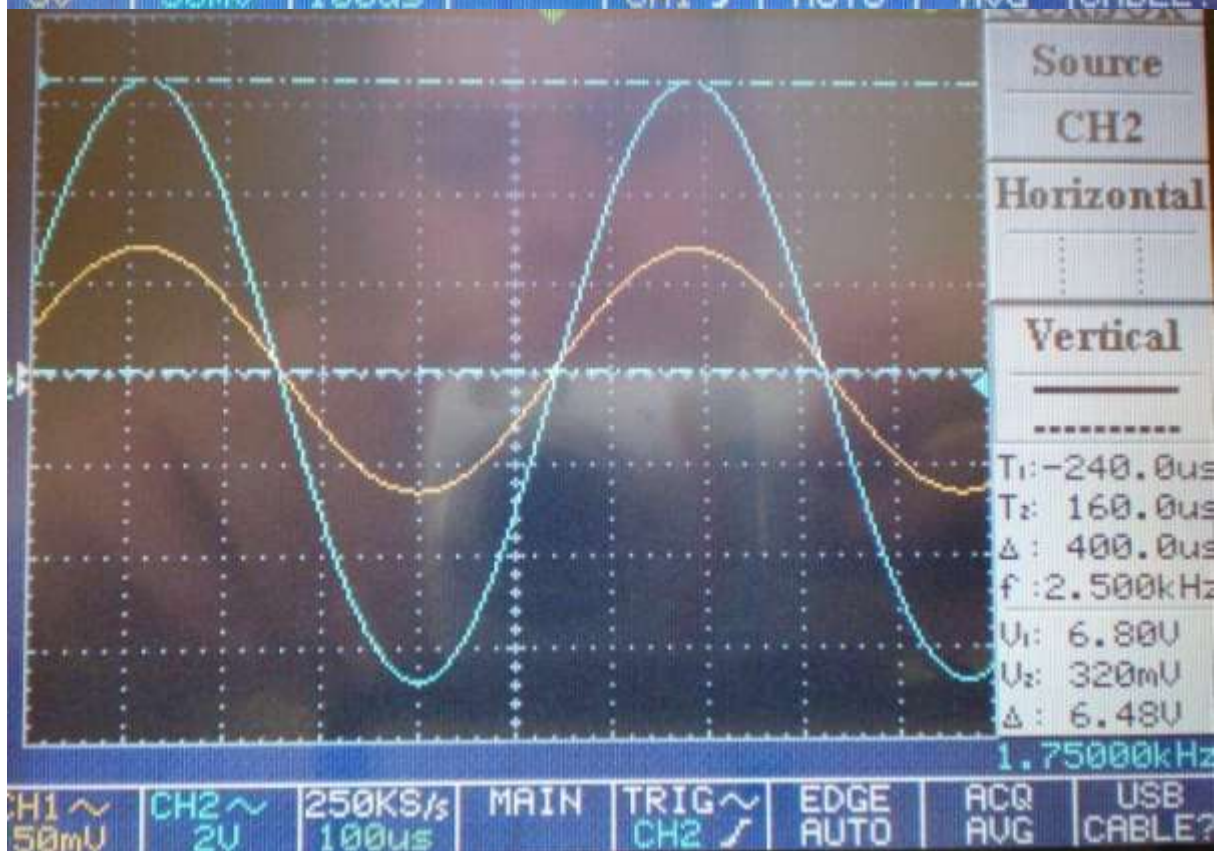
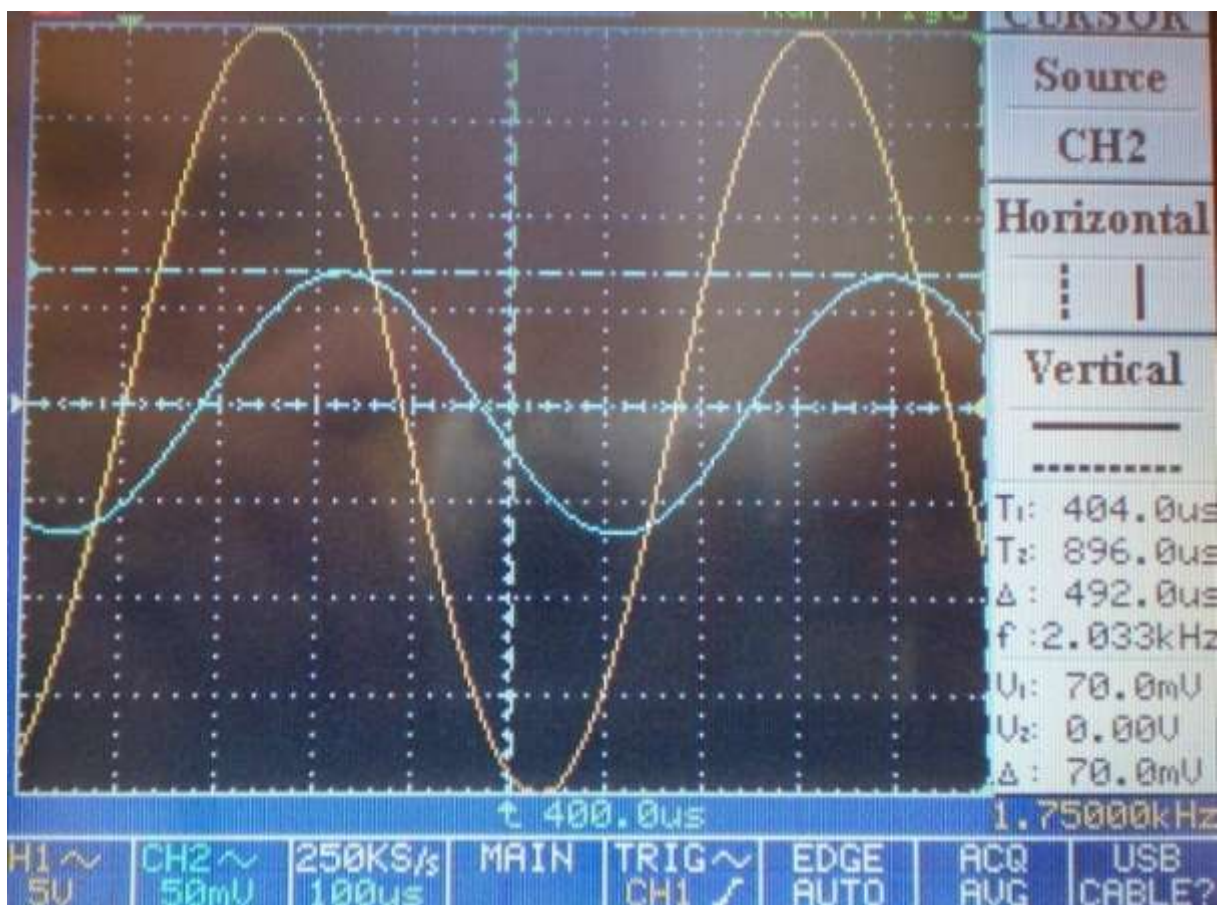
Příloha č. 220 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1000Hz a 200% zatížení



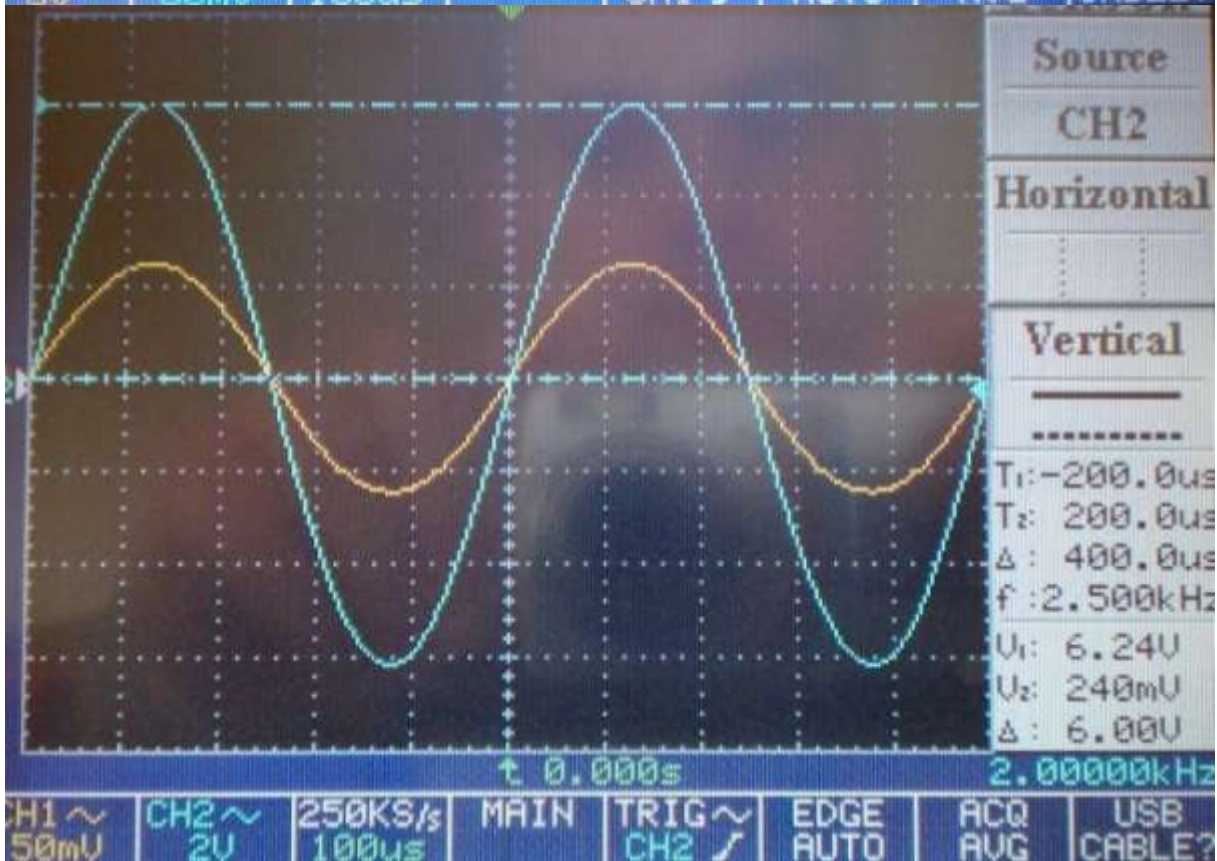
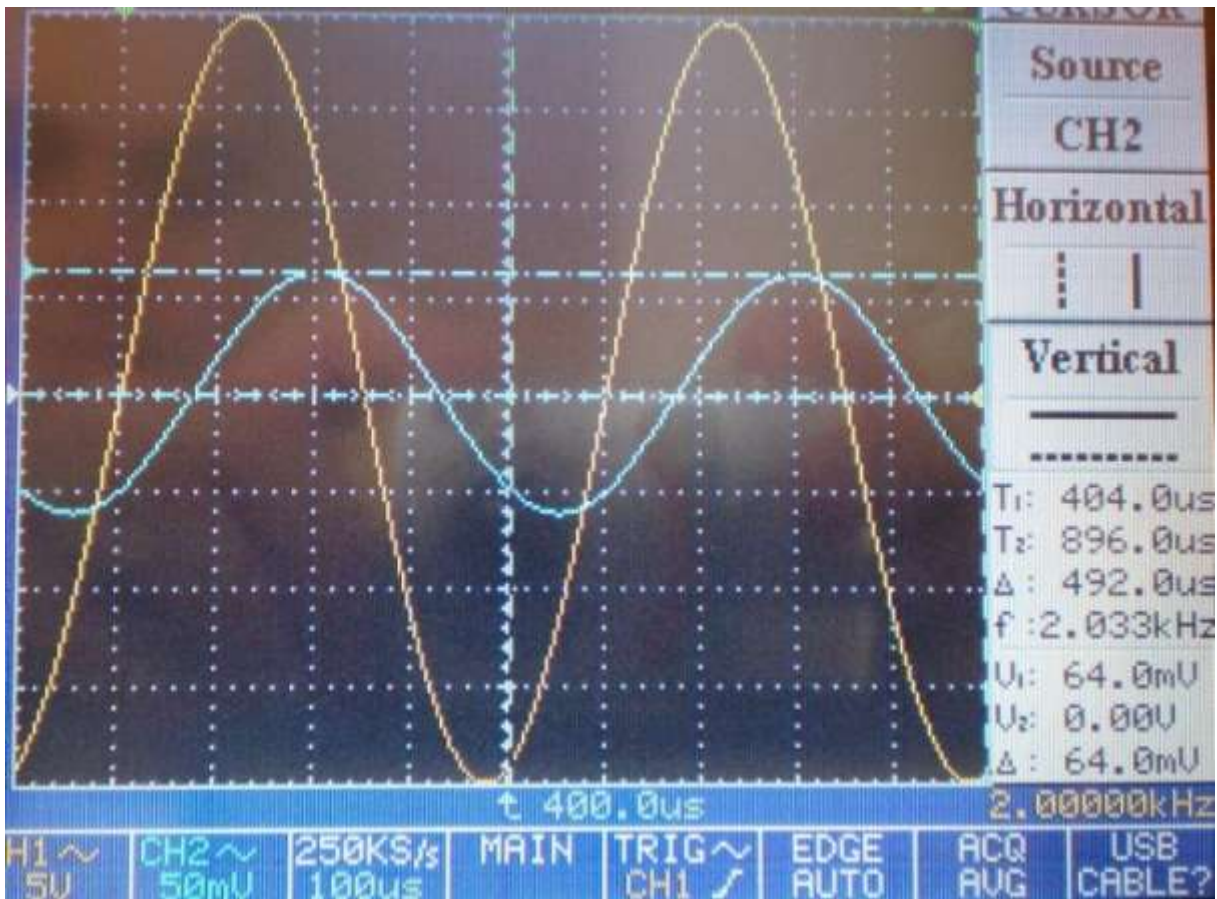
Příloha č. 225 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1250Hz a 200% zatížení



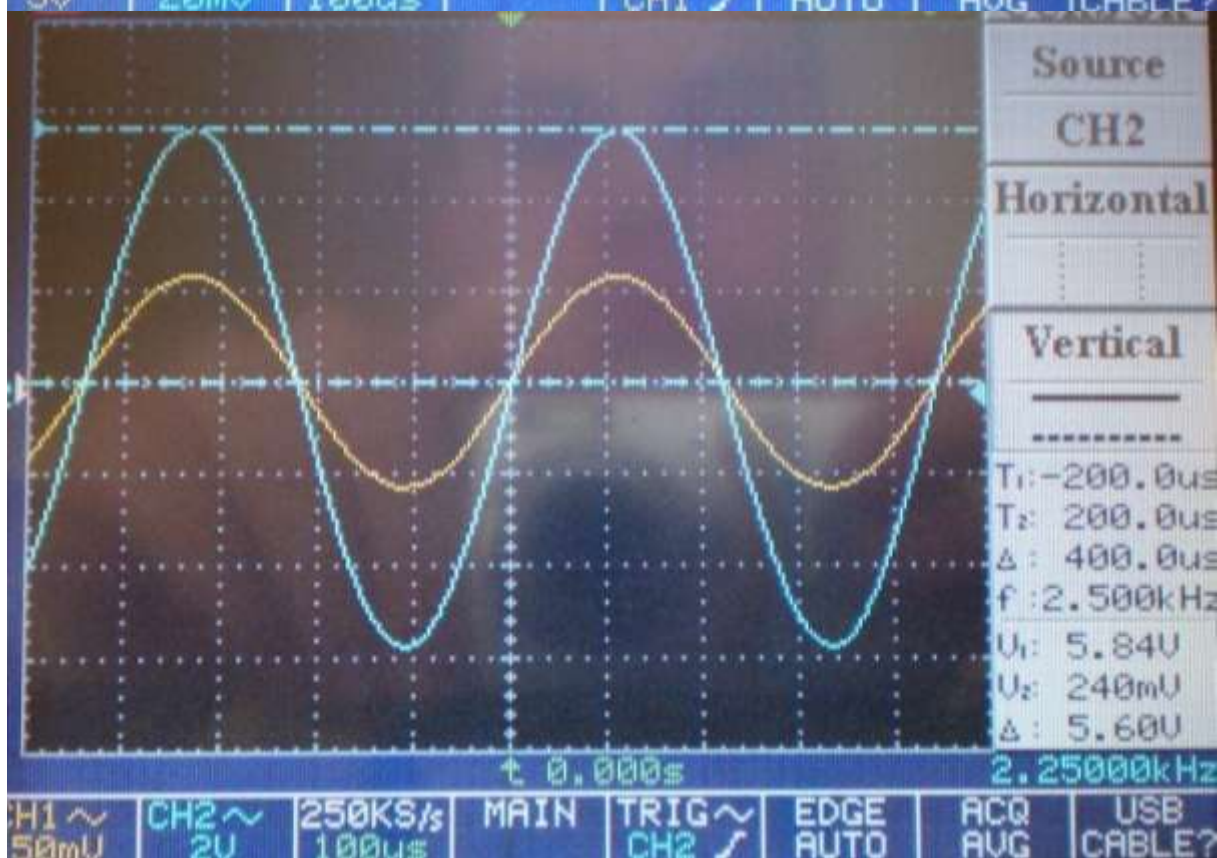
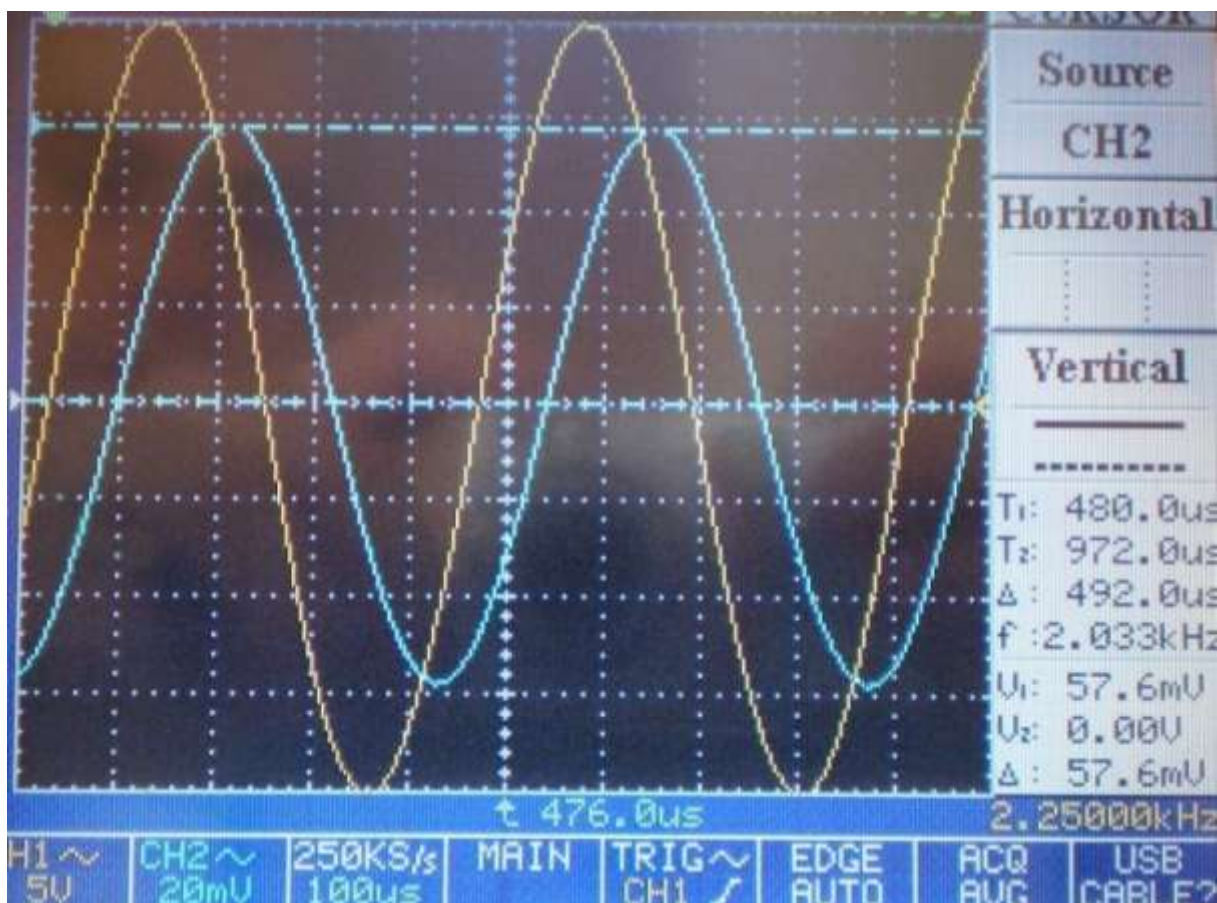
Příloha č. 230 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1500Hz a 200% zatížení



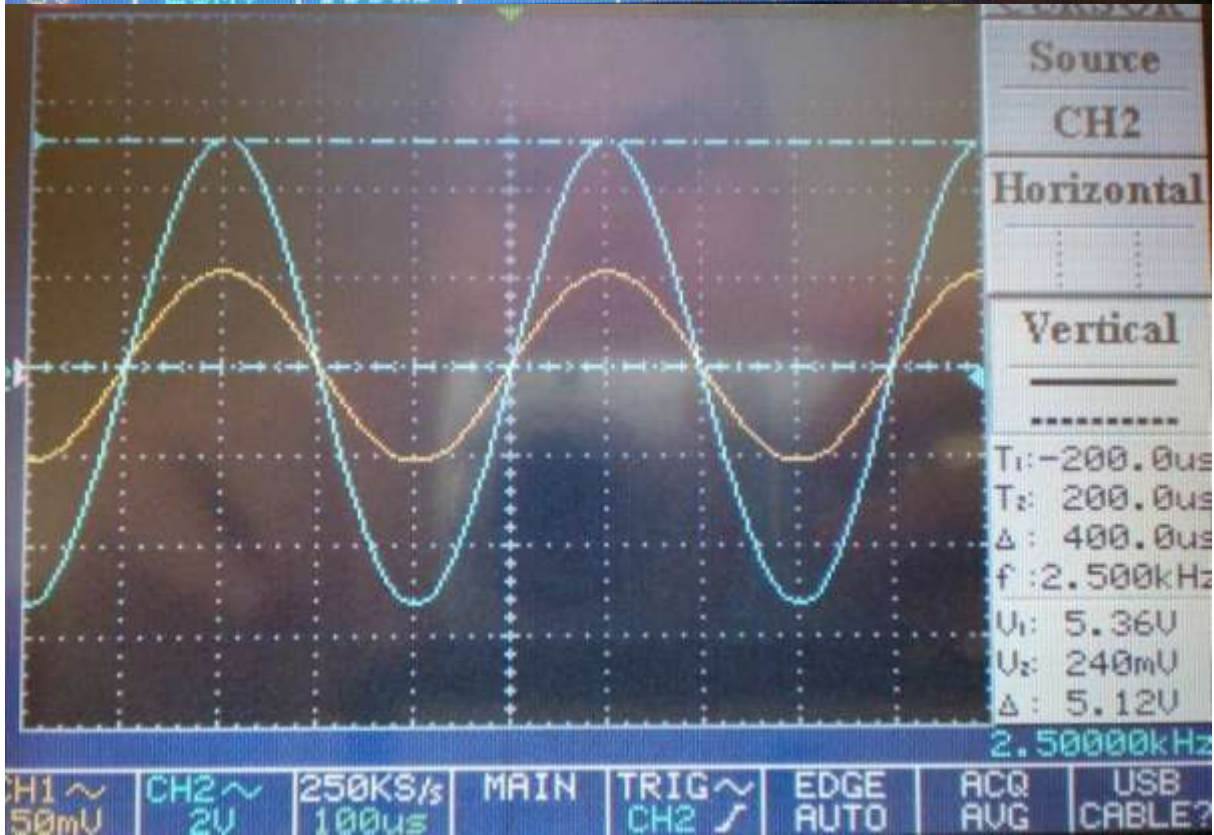
Příloha č. 235 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 1750Hz a 200% zatížení



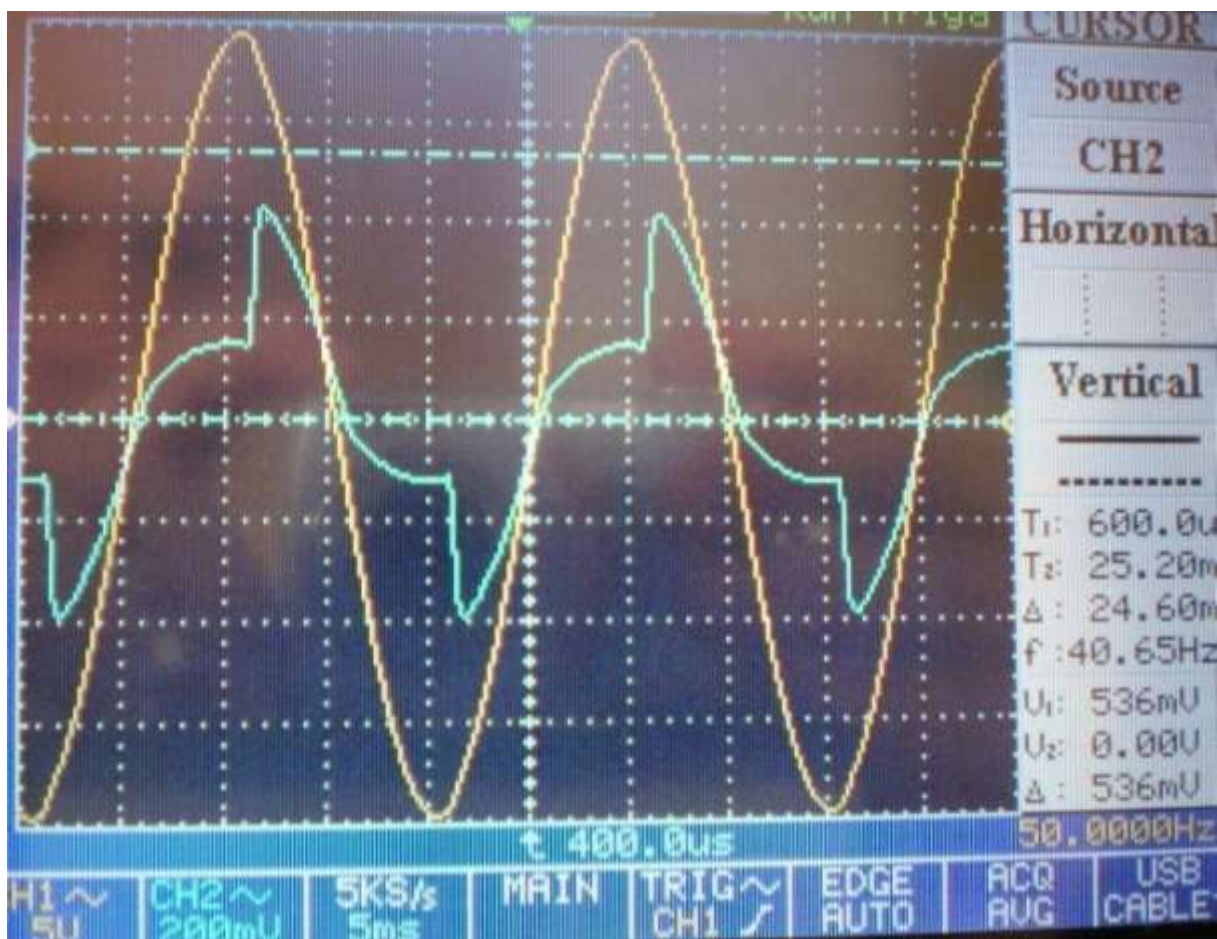
Příloha č. 240 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2000Hz a 200% zatížení



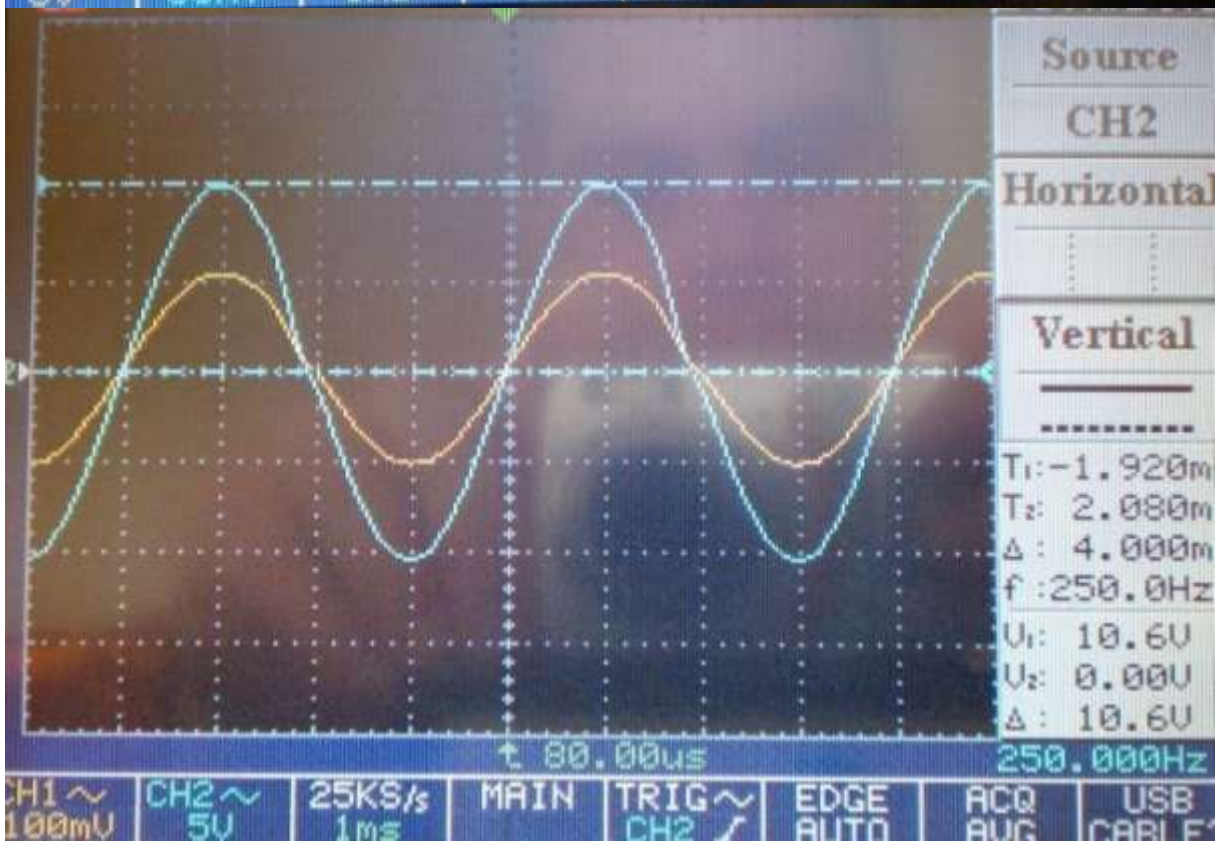
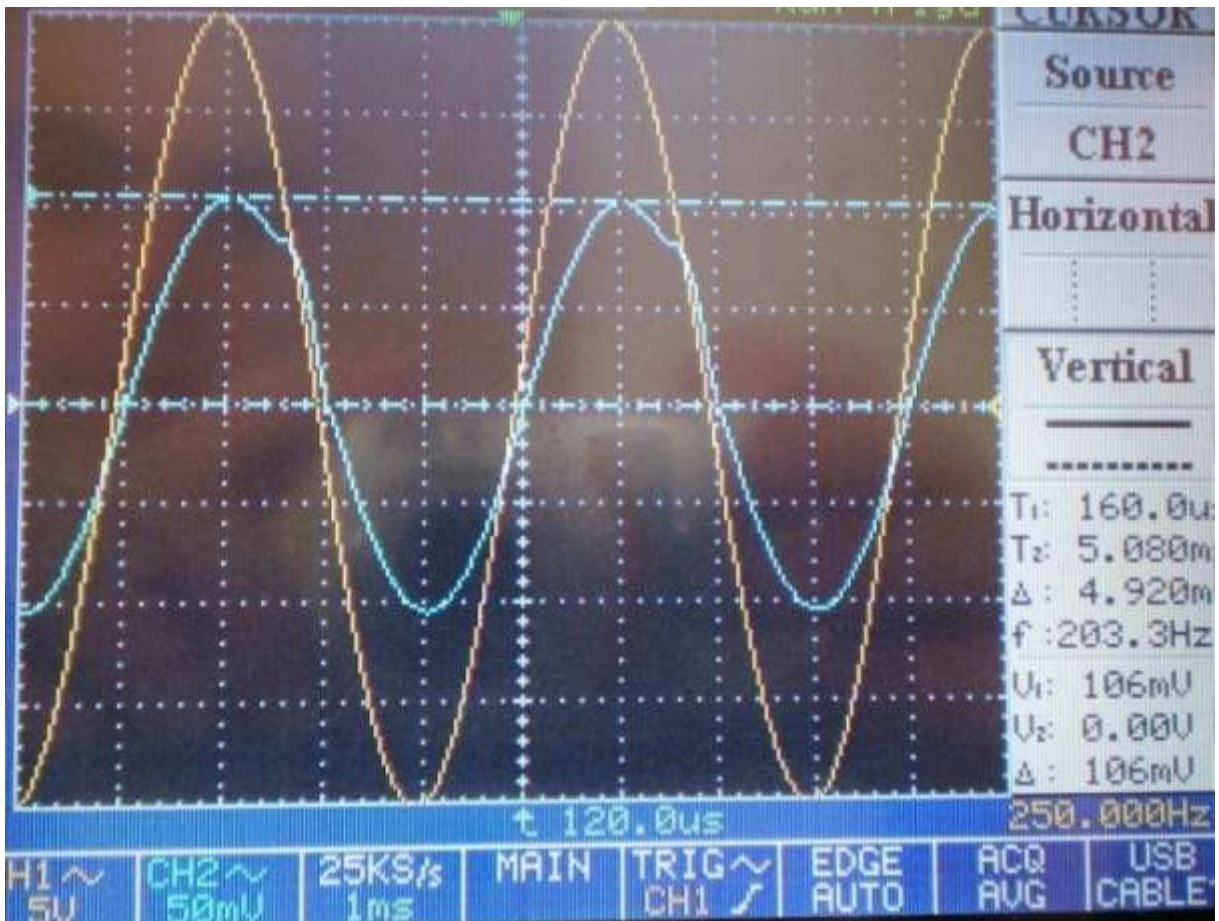
Příloha č. 245 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2250Hz a 200% zatížení



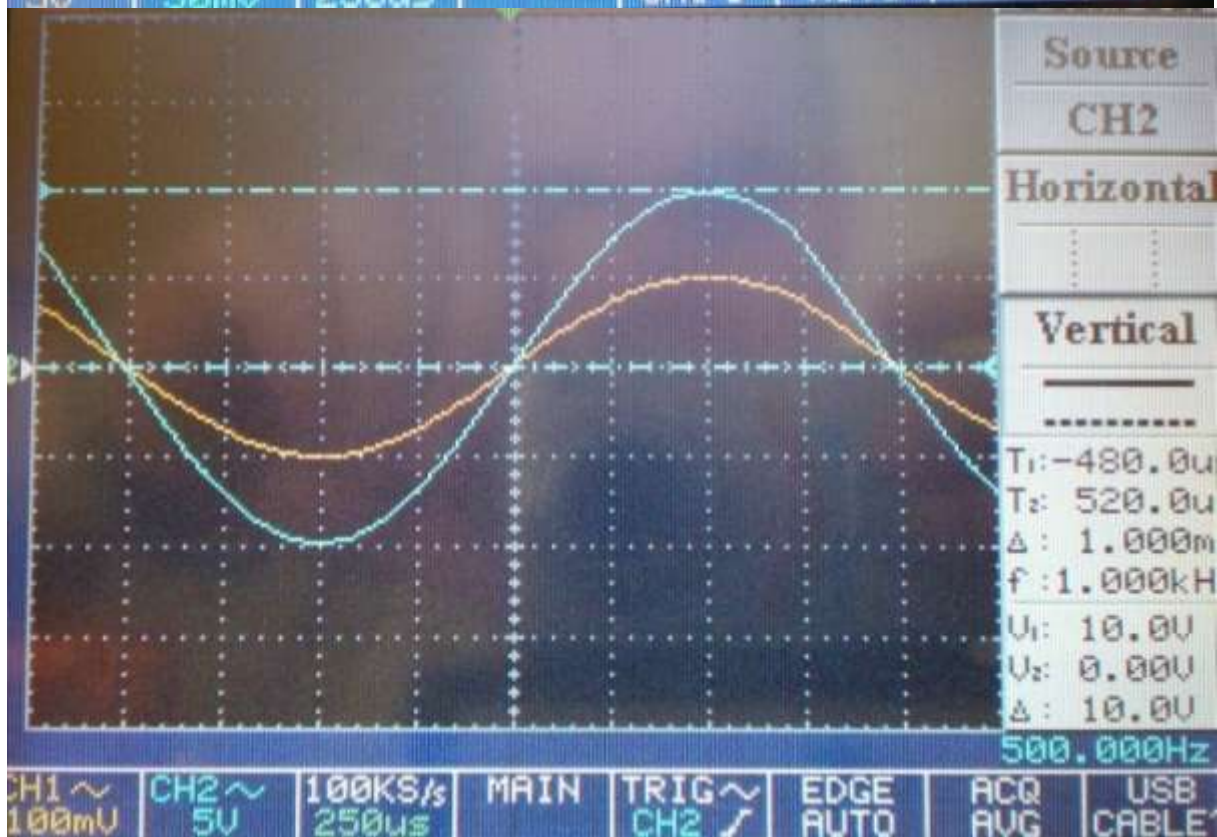
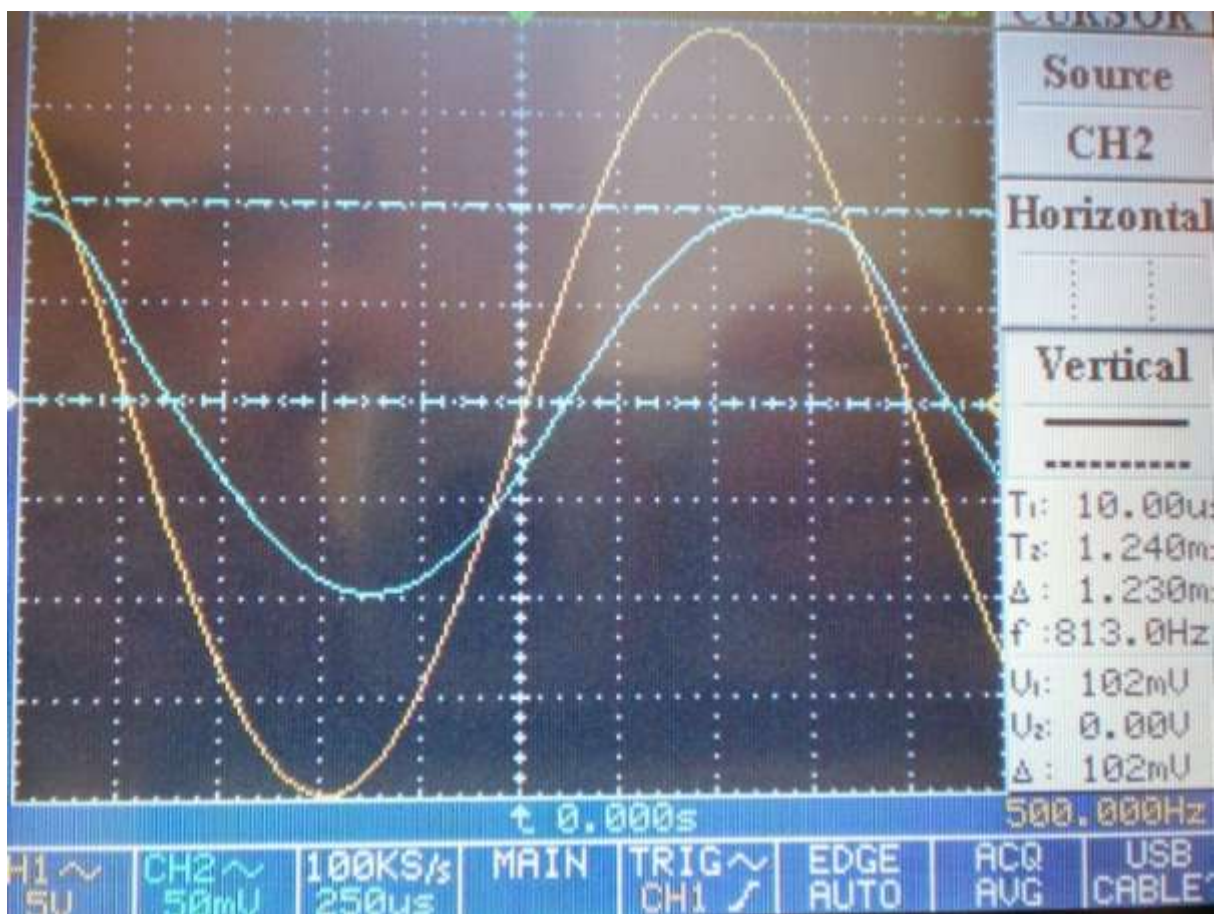
Příloha č. 250 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro elektrotechnický plech při 2500Hz a 200% zatížení



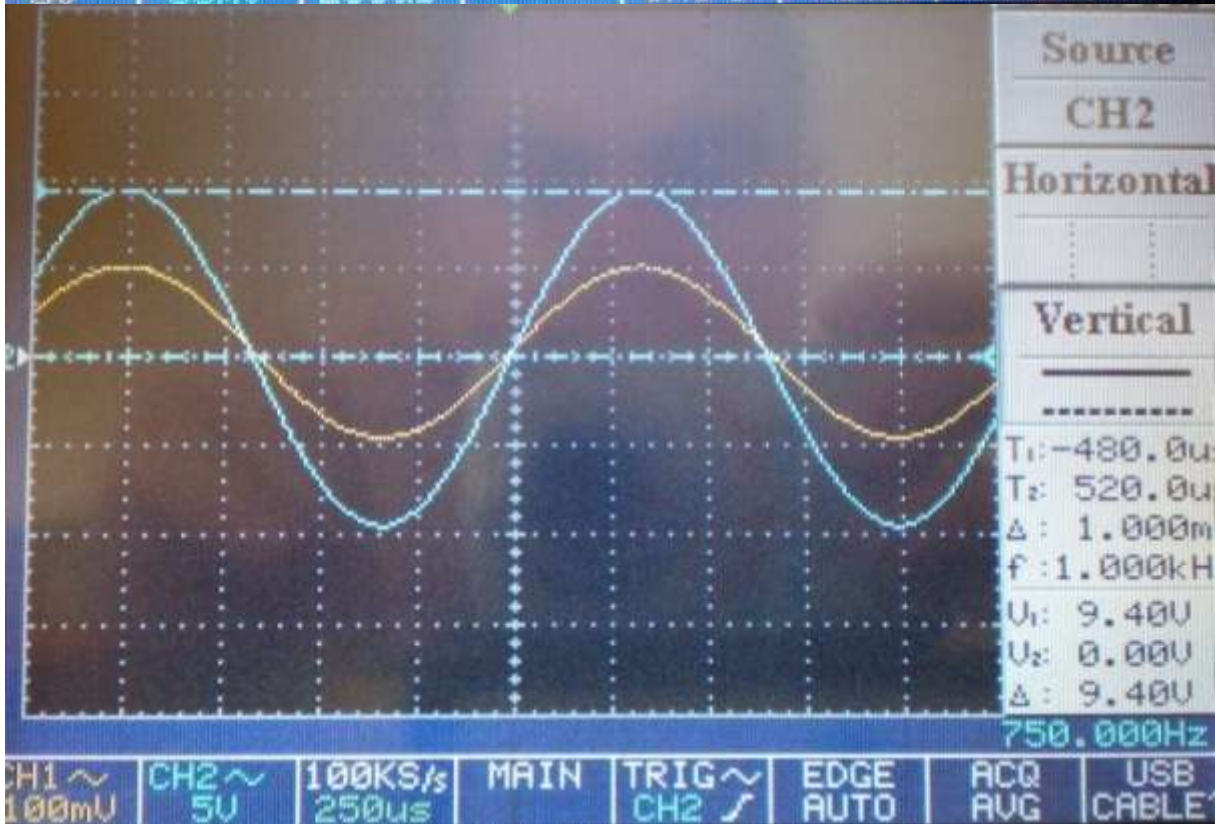
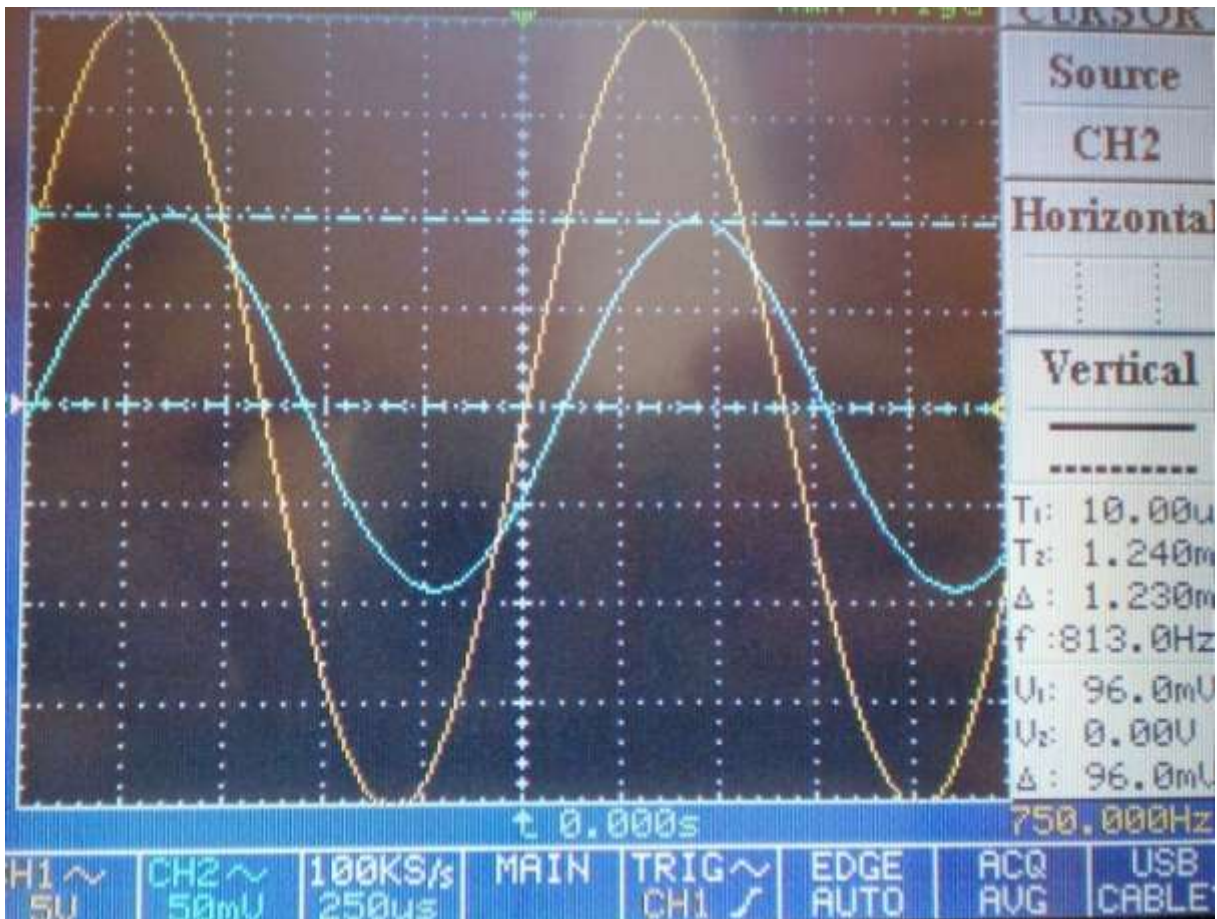
Příloha č. 251 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 50Hz a 200% zatížení



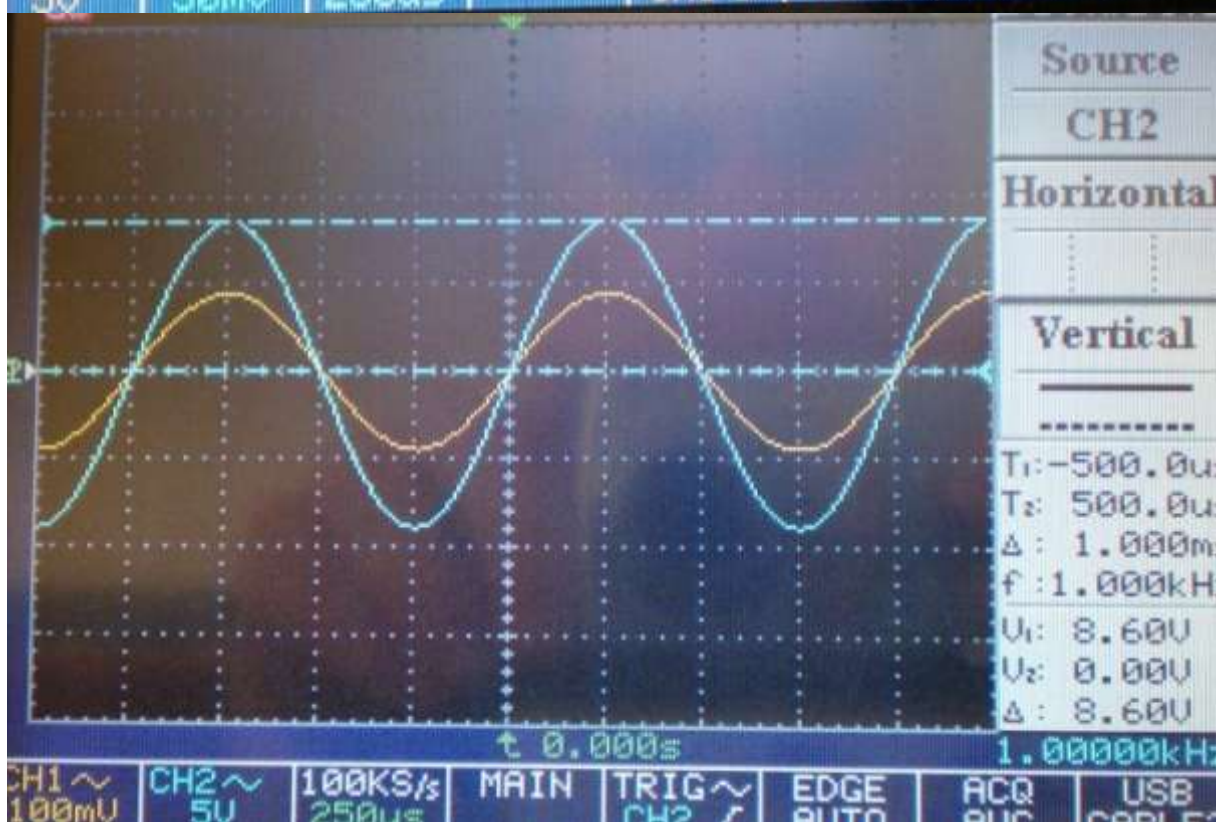
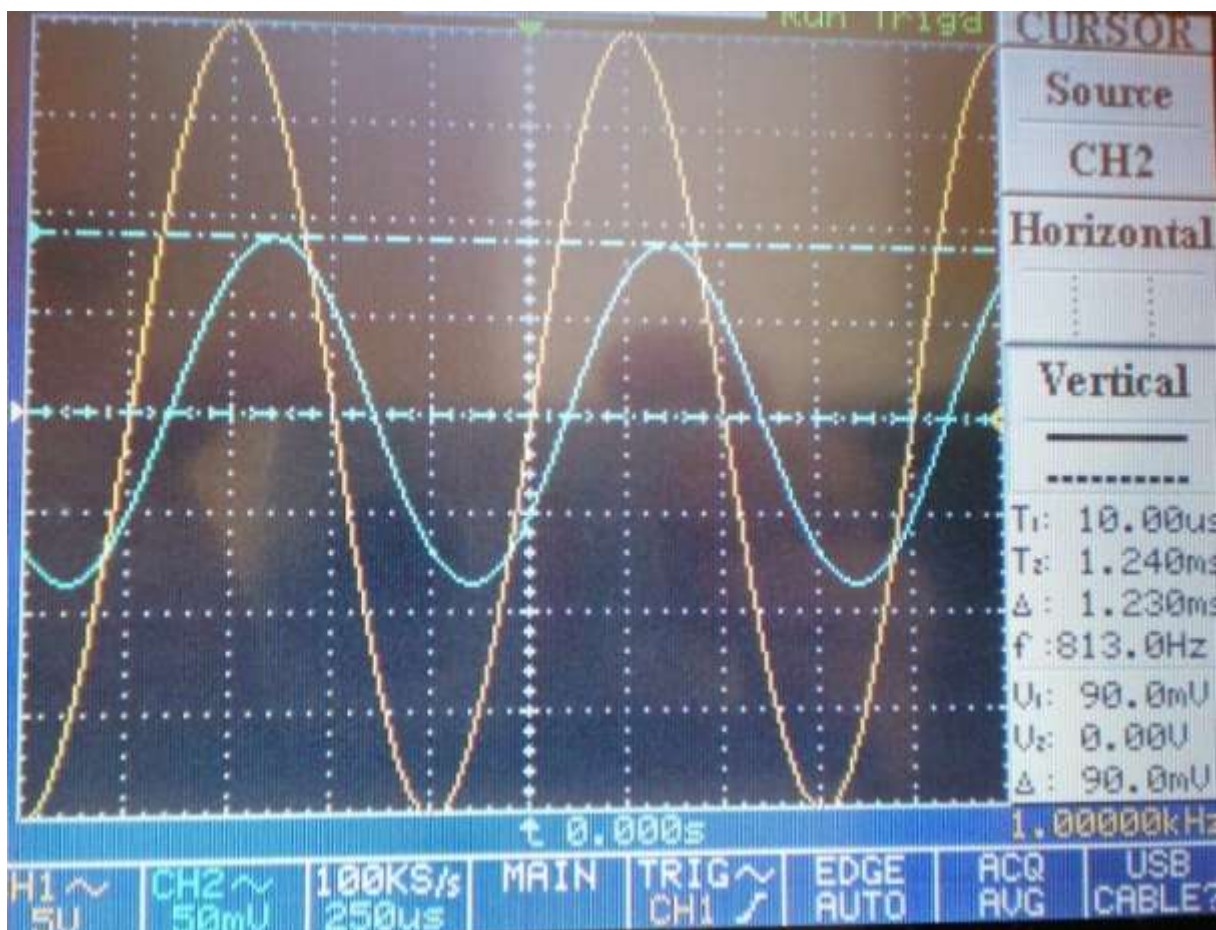
Příloha č. 255 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 250Hz a 200% zatížení



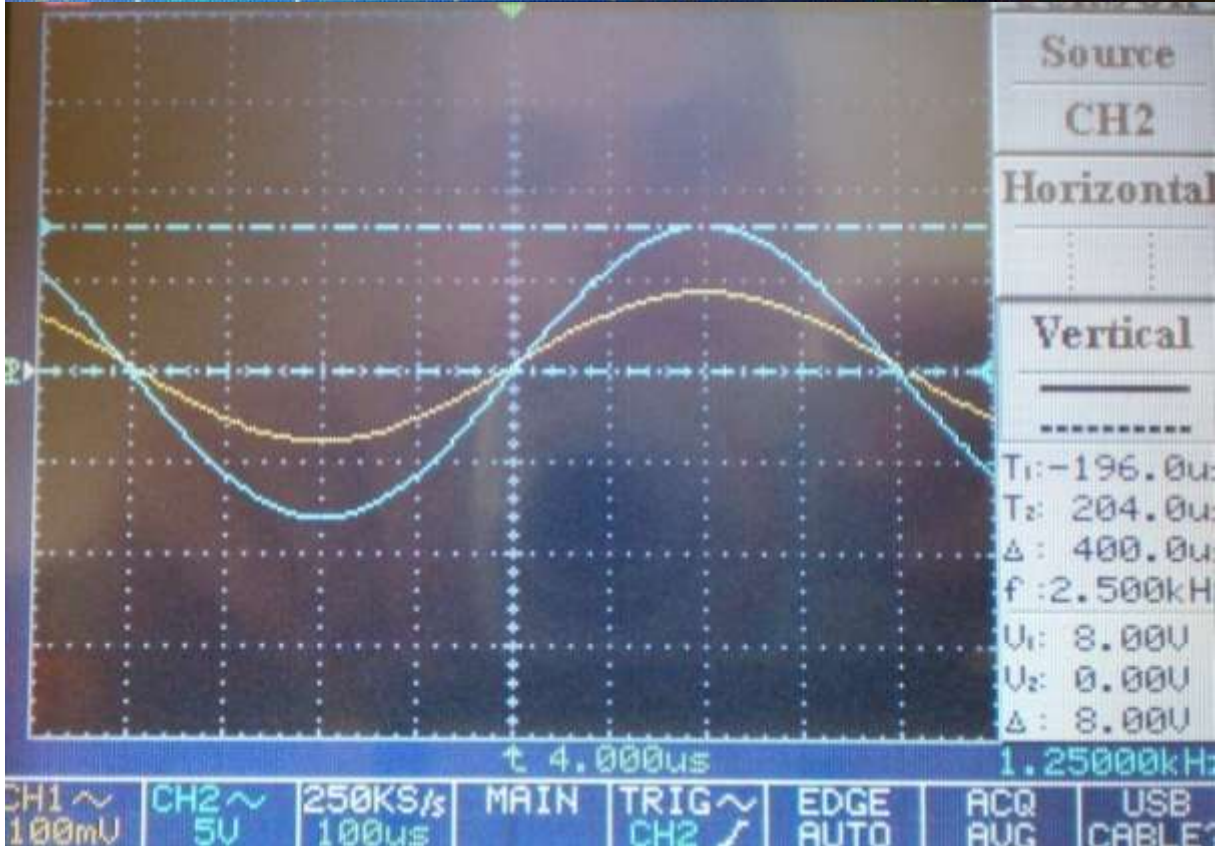
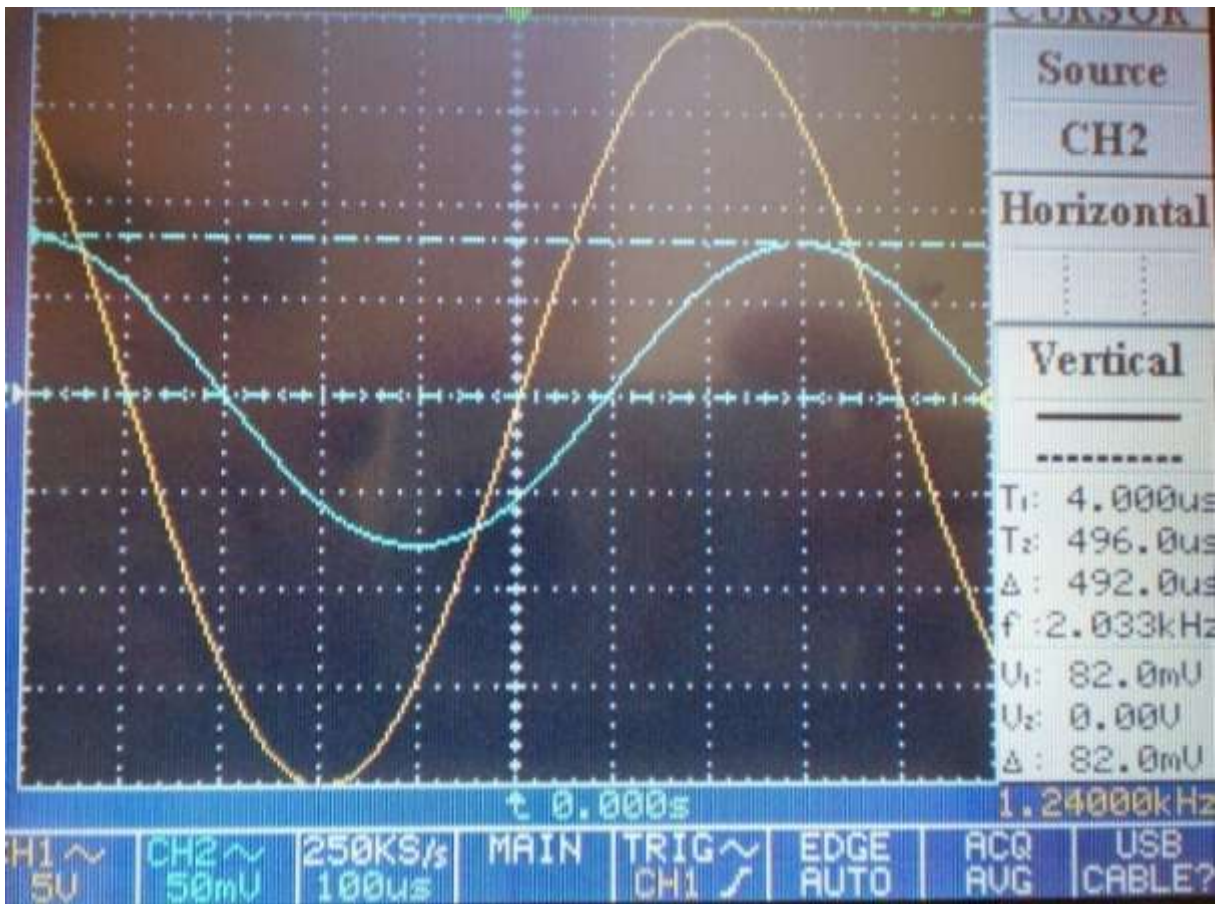
Příloha č. 260 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 500Hz a 200% zatížení



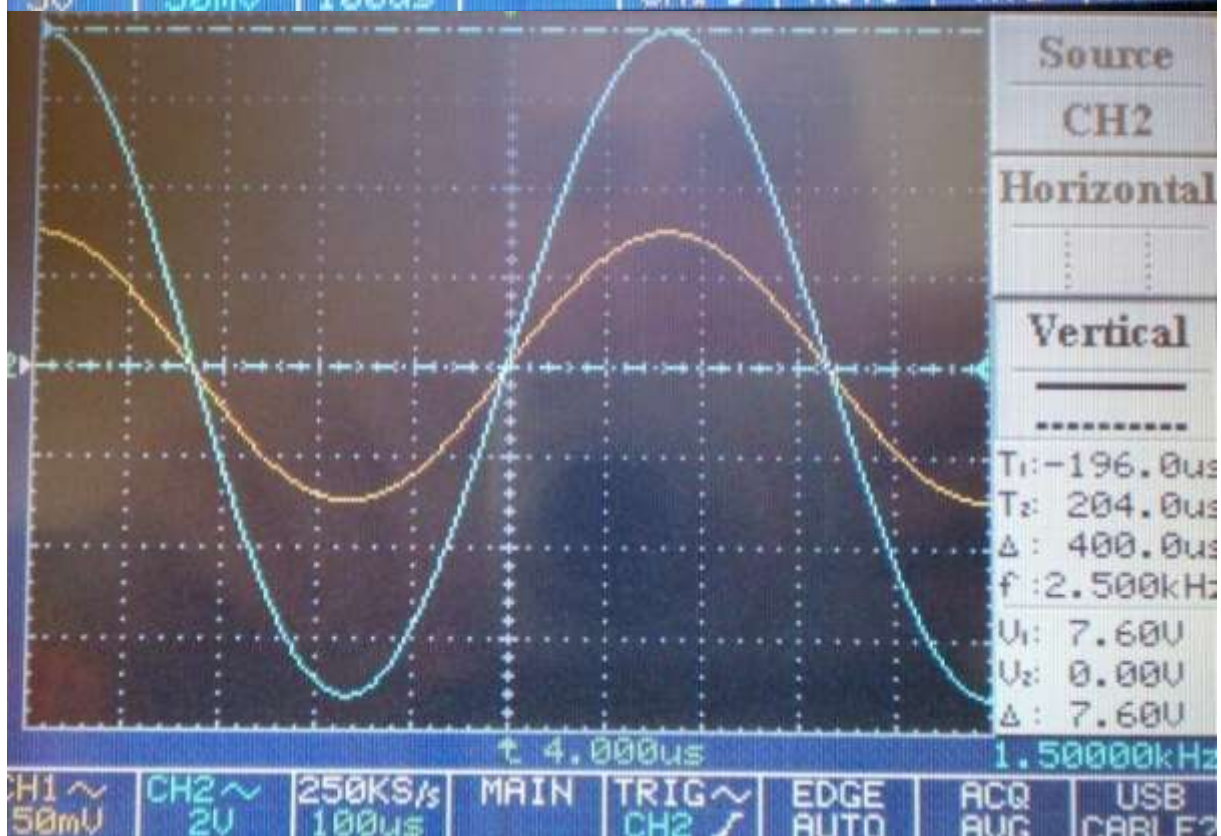
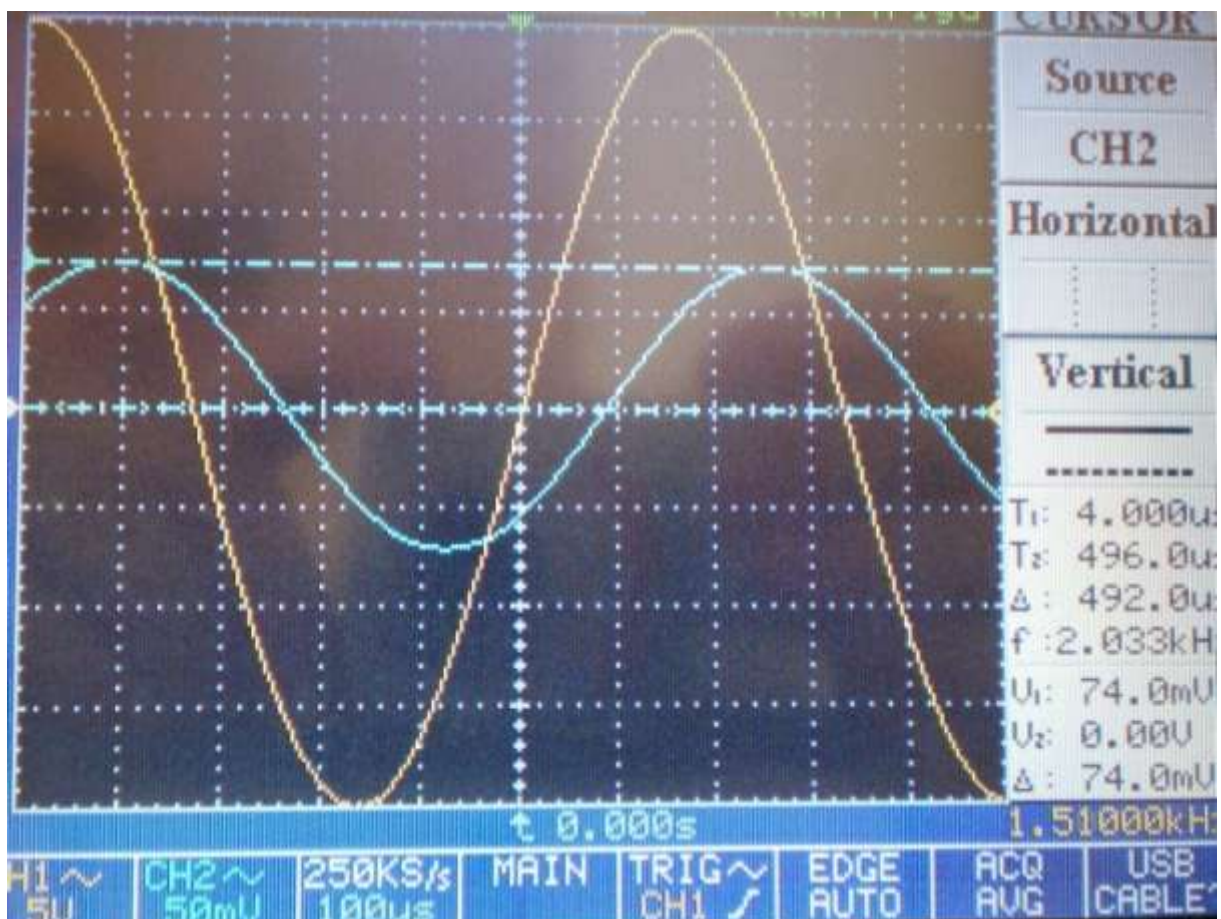
Příloha č. 265 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 750Hz a 200% zatížení



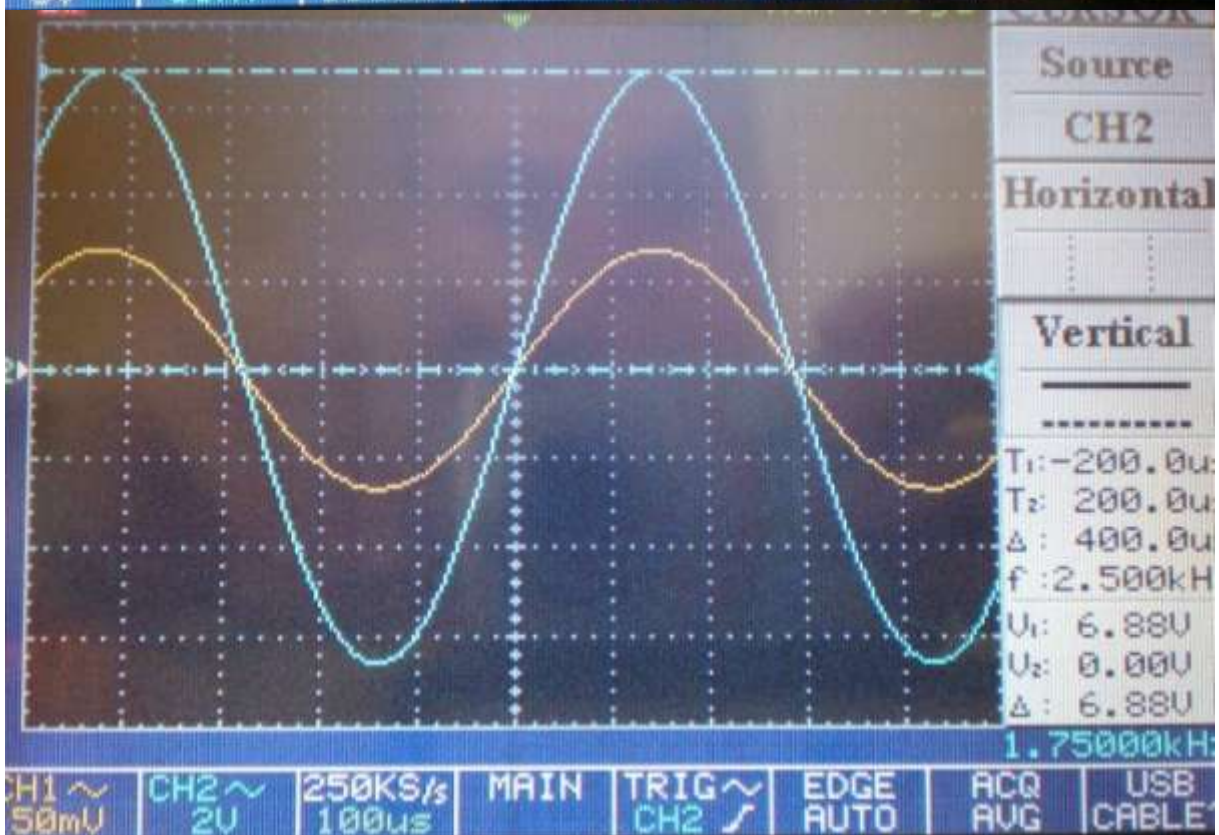
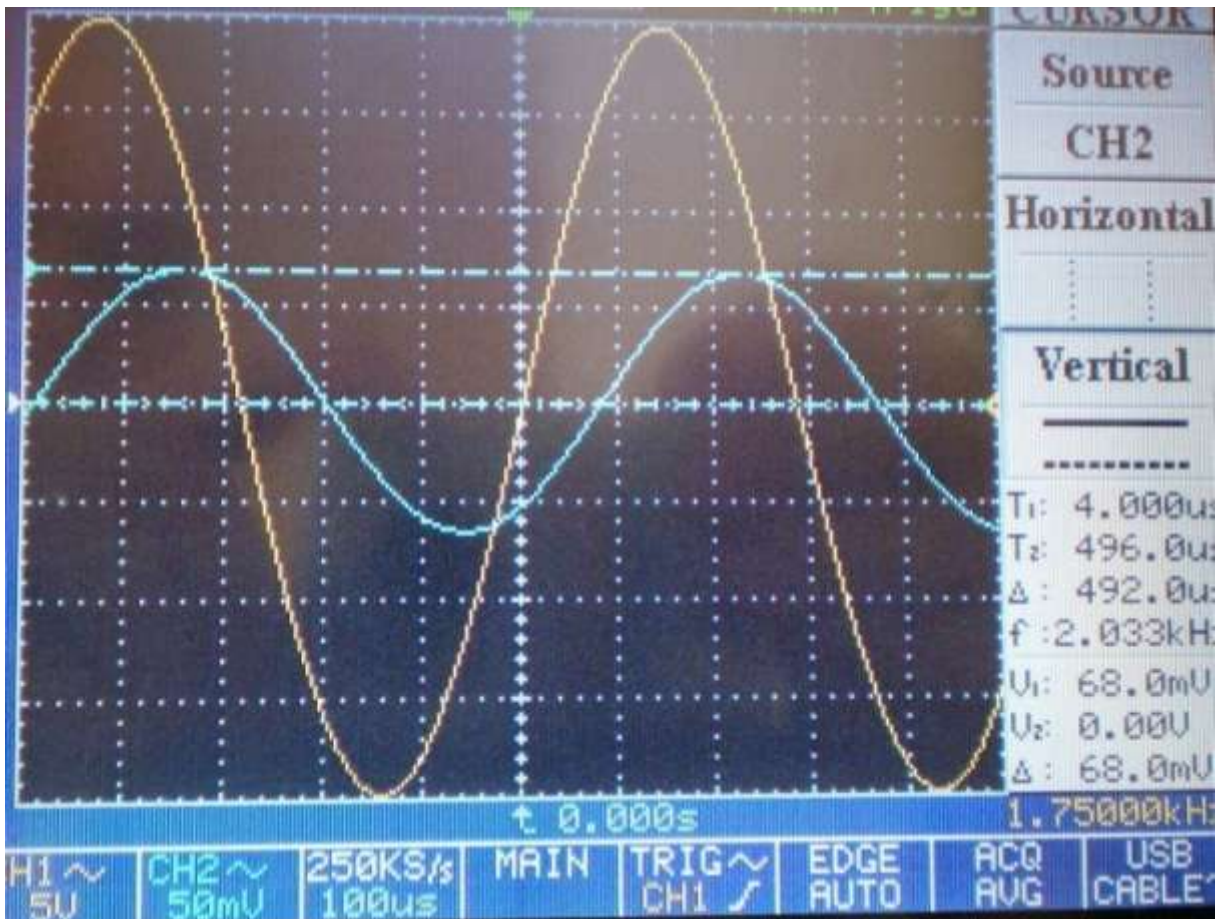
Příloha č. 270 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1000Hz a 200% zatížení



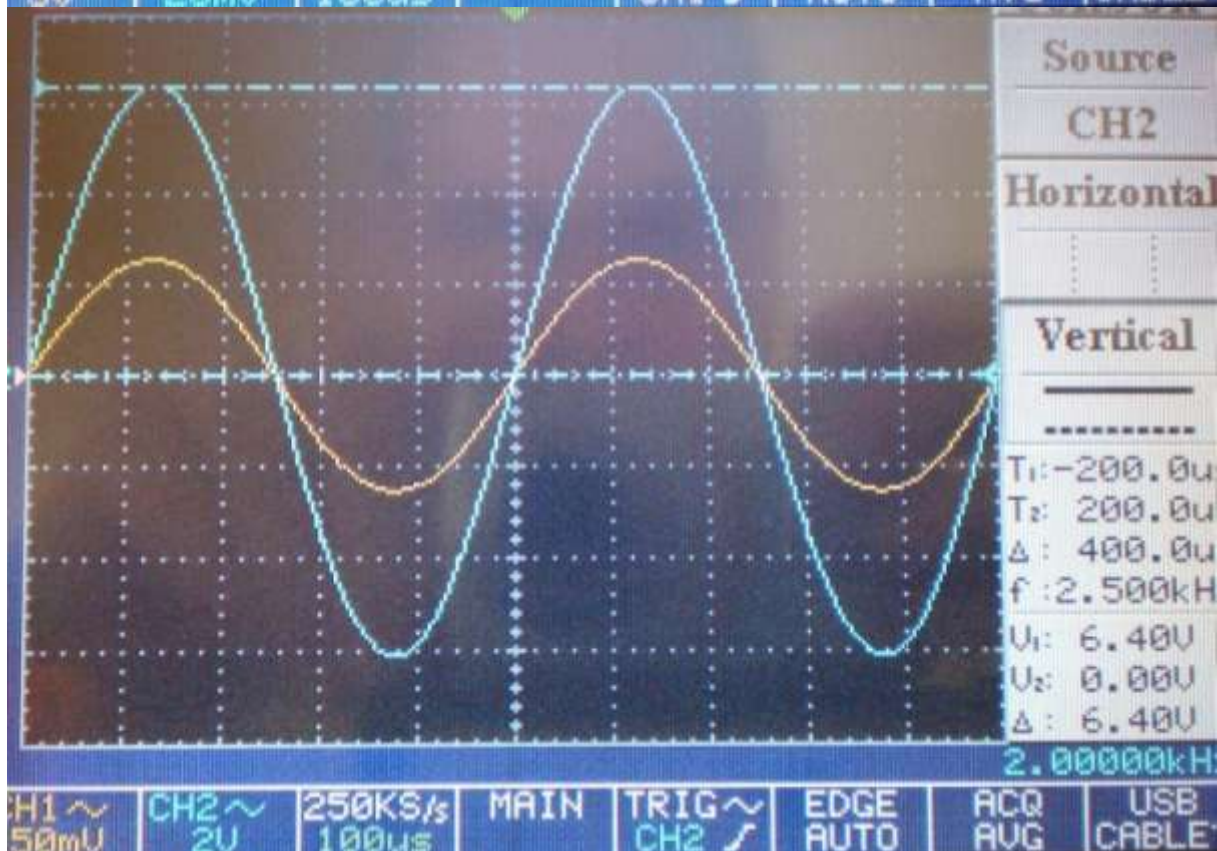
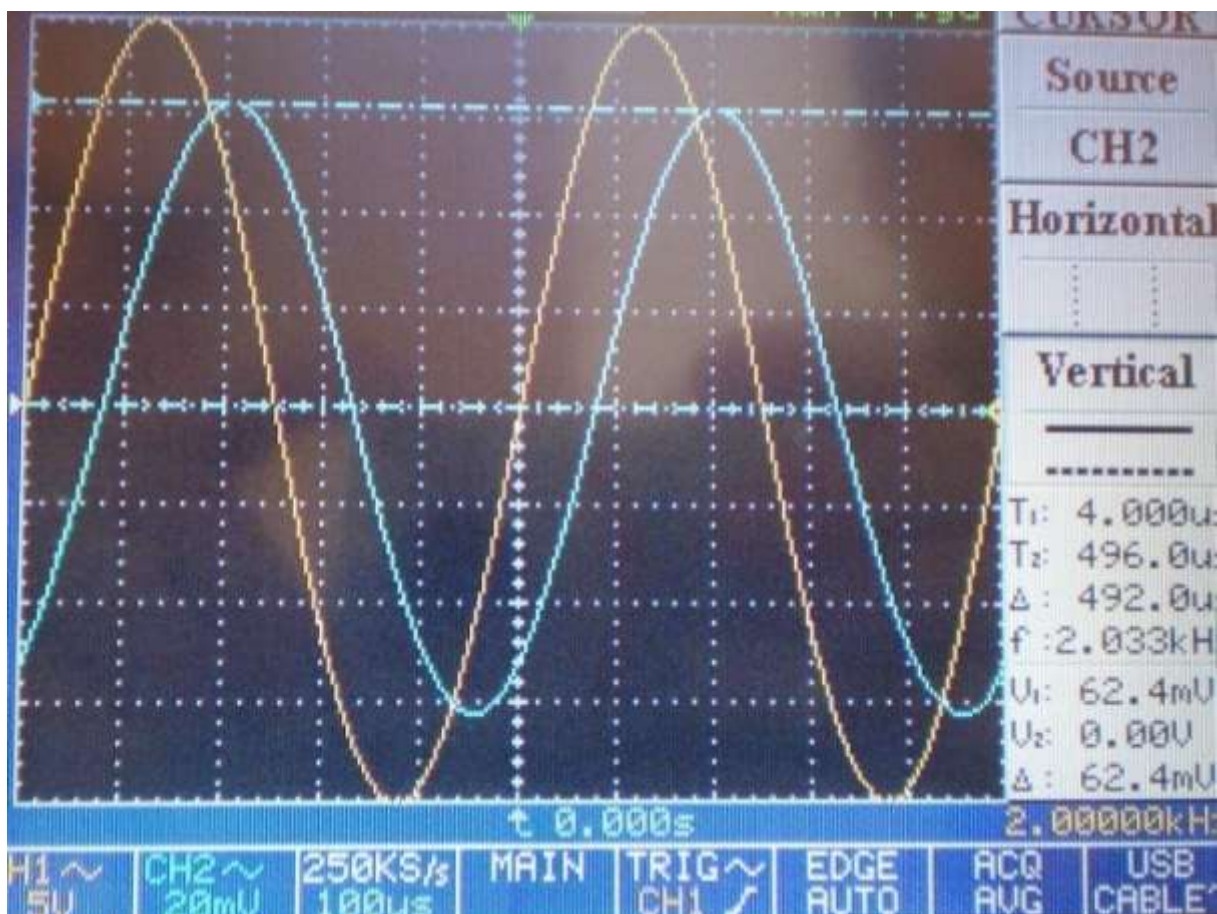
Příloha č. 275 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1250Hz a 200% zatížení



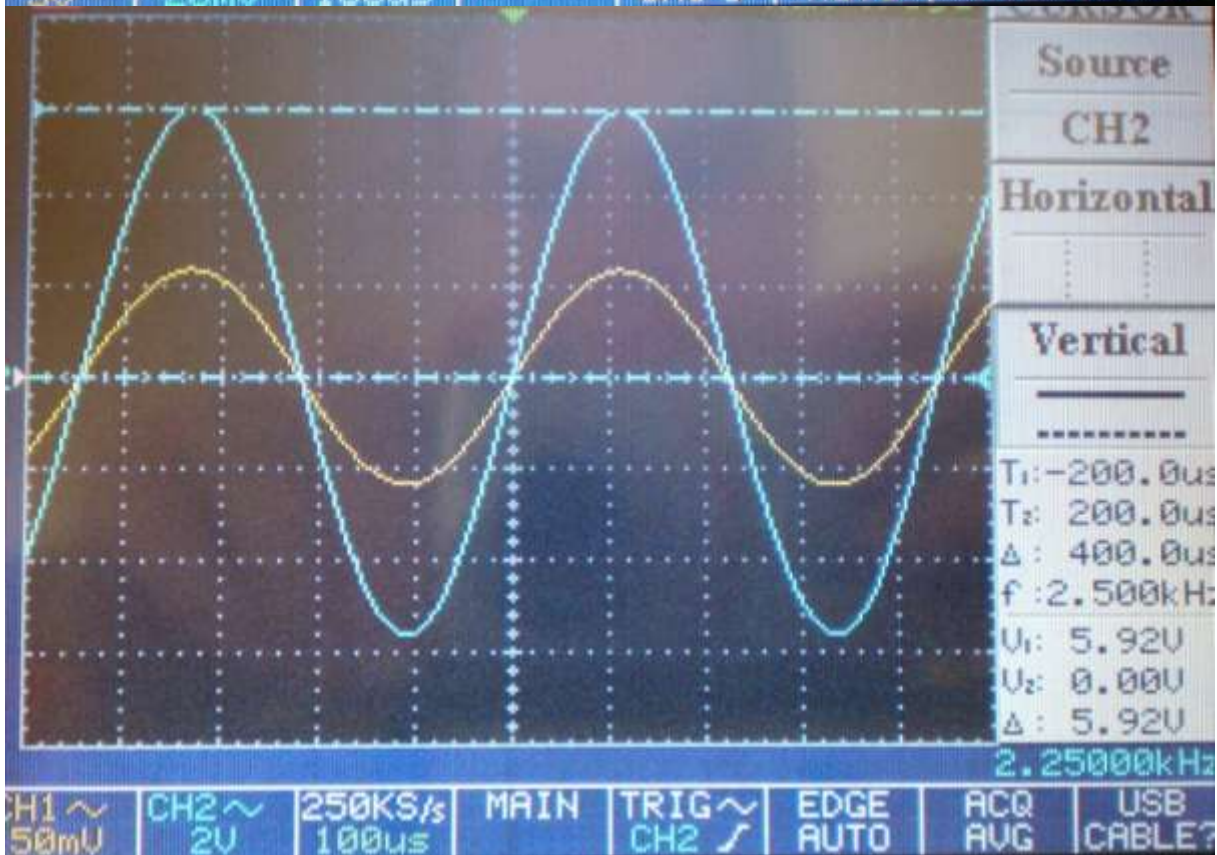
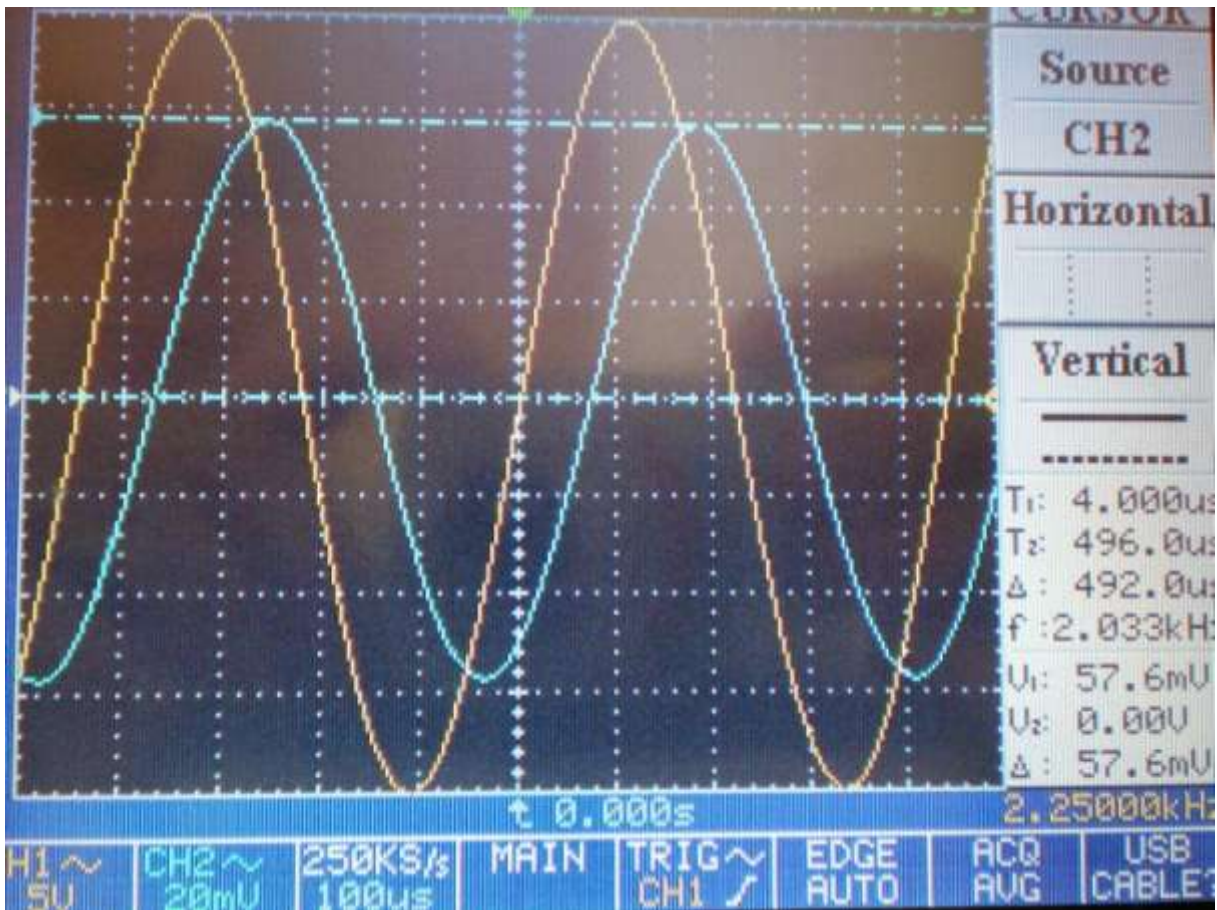
Příloha č. 280 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1500Hz a 200% zatížení



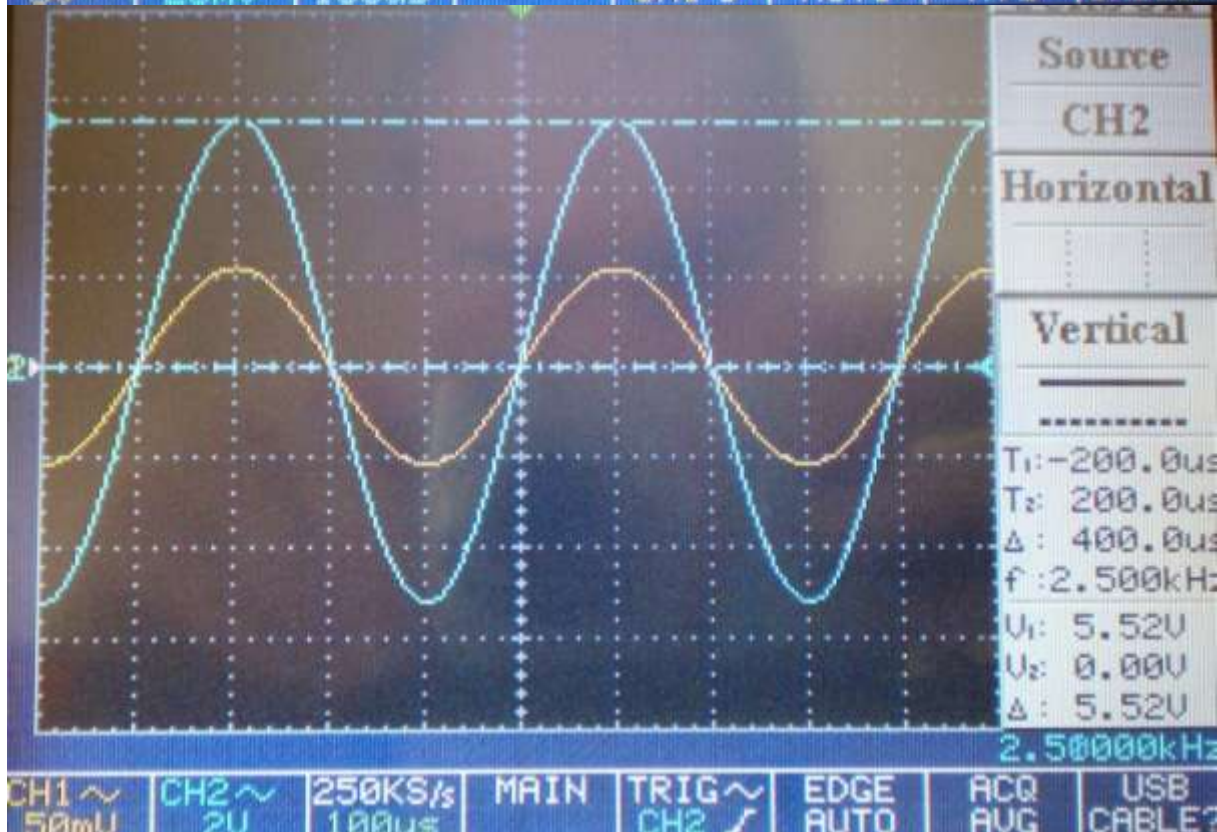
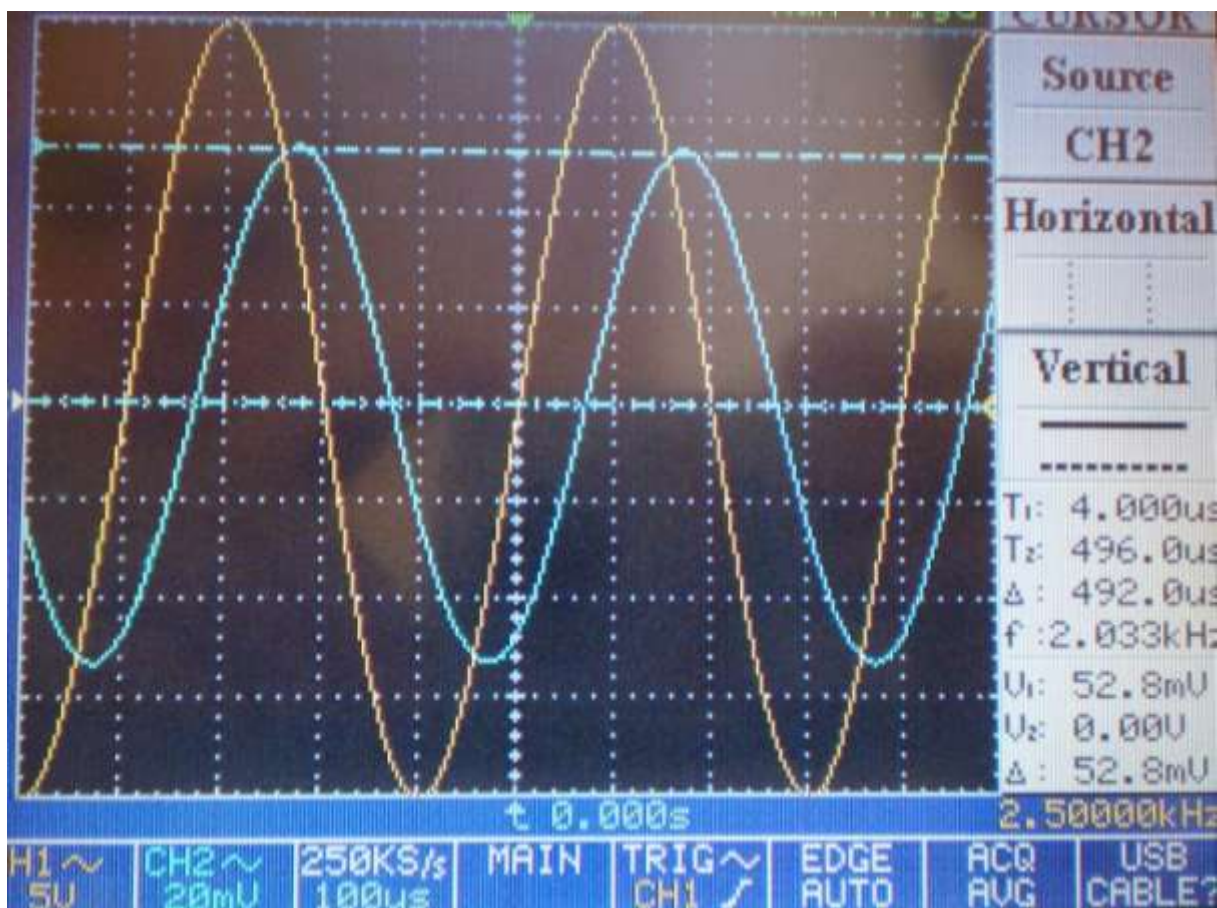
Příloha č. 285 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 1750Hz a 200% zatížení



Příloha č. 290 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2000Hz a 200% zatížení



Příloha č. 295 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2550Hz a 200% zatížení



Příloha č. 300 – Vstupní a výstupní proudy a napětí pro nanokrystalický plech při 2500Hz a 200% zatížení



