

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vytvoření úloh pro provoz a řízení sítí
Creation of laboratory tasks for network operation and
control

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Havlíček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Vytvoření úloh pro provoz a řízení sítí**
Creation of laboratory tasks for network operation and control

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Hromadné dálkové ovládání.
- o Měření elektrické energie.
- o Vytvoření laboratorní úlohy Elektroměr.
- o Vytvoření laboratorní úlohy HDO.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- o Rusek, S.: Hromadné dálkové ovládání, učební texty do Řízení elektrizačních soustav, VŠB-TU Ostrava
- o Elektrotechnická měření, BEN Praha 2002, ISBN 80-7300-022-9
- o Další podle pokynů vedoucího práce


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. 4. 2019



.....

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval za odborné rady, trpělivost a spolupráci na bakalářské práci vedoucímu doc. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá indukčními a statickými elektroměry a pojednává o jejich základních částech a principech. Na konci jejich kapitoly jsou rozepsány výhody mezi těmito dvěma druhy elektroměrů, z nichž jasně vyplývá, že použití statických moderních elektroměrů je výhodnější. Bakalářská práce dále pojednává o systému hromadného dálkového ovládání pro nízkonapěťové a vysokonapěťové sítě. Pojednává o typech signálů, pomocí kterých komunikuje vysílač HDO s přijímačem, který pracuje současně s elektroměrem. Na konci této práce jsou vypracované laboratorní úlohy na mechanickém elektroměru a přijímači HDO. Na mechanickém elektroměru se měří 4 proudy při různých charakterech zátěže. U laboratorních úloh na HDO přijímačích se může vidět ověření přijímače HDO FMX 300 a jeho frekvenční charakteristika.

Klíčová slova

Induktivní elektroměr, Statický elektroměr, Vysílač, Signály, Počítací strojek, Hromadné dálkové ovládání, Brzdící magnet, FMX 300

Abstract

This bachelor thesis focuses on inductive and static electricity meter and their basic components and principles. At the end of the electricity meter chapter there are discussed the advantages between these two kinds of electricity meter which clearly shows that the usage of static modern electricity meter is preferable. The bachelor thesis furthermore deals with mass remote control system for low and high voltage networks. It also discusses signal types which enables HDO transceiver to communicate with receiver, which simultaneously works with the electricity meter. At the end of this thesis the laboratory exercises are worked out on mechanic electricity meter and HDO receiver. On mechanic electricity meter four currents are measured when various load. Within the HDO laboratory exercises an verification of HDO FMX 300 receiver and its frequency characteristic can be seen.

Key words

Inductive meter, Static electricity, Transmitter, Signals, Counting machine, Mass remote control, Braking magnet, FMX 30

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	6
Seznam ilustrací	7
Seznam tabulek	8
Seznam grafů.....	8
1 Úvod.....	9
2 Měření elektrické energie.....	10
2.1 Indukční elektroměry	11
2.2 Statické elektroměry.....	15
2.3 Elektronické impulzní elektroměry	16
2.4 Čtyřkvadrantní elektroměr	18
2.5 Přesnost měření	19
3 Hromadné dálkové ovládání.....	22
3.1 Velkoodběr.....	23
3.2 Maloodběr	23
3.3 Části, ze kterých se skládá systém HDO	24
3.4 Kódy pro systém HDO	28
3.5 Rušivé vlivy na provoz systému HDO	29
4 Měření na jednofázovém indukčním elektroměru.....	31
5 Měření na přijímači hromadného dálkového ovládání	37
5.1 Měření s HDO č.1, ověření přijímače HDO FMX 300	37
5.2 Měření s HDO č. 2, měření frekvenční charakteristiky.....	39
6 Závěr	42
Použitá literatura	43

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
M_p	Výsledný pohybový moment
ΔX	Absolutní chyba
X_M	Měřená hodnota
X_S	Konvenčně pravá hodnota
φ	Fázový posun proudu a napětí
δ	Relativní chyba
ω	úhlová rychlost
ψ	Fázový posun toků
I	Proud
U	Napětí
Φ	Magnetický tok
Hz	Hertz
K	Korekce
Δ_p	Maximální dovolená absolutní odchylka měřicího přístroje
X_R	Rozsah měřicího přístroje
T_p	Třída přesnosti
P	Výkon
Z	Impedance
NT	Nízký tarif

Seznam ilustrací

Obr. 1 Porovnání elektroměrů [8]	10
Obr. 2 Jednofázový elektroměr, schéma zapojení [3]	11
Obr. 3 Jednofázový indukční elektroměr [5].....	11
Obr. 4 Jednofázový indukční elektroměr konstrukce [18]	12
Obr. 5 Třífázový indukční elektroměr [2].....	13
Obr. 6 Třífázový elektroměr, schéma zapojení [3]	13
Obr. 7 Počítací strojek HF6[6]	14
Obr. 8 Počítací strojek L7 [6].....	15
Obr. 9 Statický elektroměr [20].....	15
Obr. 10 Blokové schéma statického elektroměru [2]	16
Obr. 11 Statický elektroměr s modulem HDO [2]	17
Obr. 12 Kvadranty měření.....	18
Obr. 13 Čtyřkvadrantní elektroměr SL7000 [23].....	19
Obr. 14 Blokové schéma HDO [17].....	22
Obr. 15 Vysílače HDO pro sítě VN [16].....	23
Obr. 16 Mapa ČR s vysílači HDO [19]	24
Obr. 17 Vysílač HDO [16]	25
Obr. 18 Vysílač HDO [17]	26
Obr. 19 Přijímač HDO [15].....	27
Obr. 20 Časový průběh sériového impulsního povelového kódu [21].....	28
Obr. 21 Časový průběh základního impulsního povelového kódu [21].....	29
Obr. 22 Měření elektrické energie, schéma.....	32
Obr. 23 Měření elektrické energie, zapojení	32
Obr. 24 Řízená zátěž	33
Obr. 25 Ověření přijímače FMX 300, schéma	37
Obr. 26 Ověření přijímače FMX 300, zapojení.....	37
Obr. 27 Měření frekvenční charakteristiky, schéma	39
Obr. 28 Měření frekvenční charakteristiky, zapojení.....	39
Obr. 29 Měření na statickém a mechanickém elektroměru.....	41

Seznam tabulek

Tab. 1 Zátěž R.....	33
Tab. 2 Zátěž L	34
Tab. 3 Zátěž RL.....	34
Tab. 4 Zátěž RC	35
Tab. 5 Zátěž RLC	36
Tab. 6 Tabulka kódu pro ověření přijímače	38
Tab. 7 Hodnoty z měření frekvenční charakteristiky	40

Seznam grafů

Graf 1 Chyba měření, zátěž R	33
Graf 2 Chyba měření, zátěž L	34
Graf 3 Chyba měření, zátěž RL.....	35
Graf 4 Chyba měření, zátěž RC	35
Graf 5 Chyba měření, zátěž RLC	36
Graf 6 Frekvenční charakteristika přijímače HDO	40

1 Úvod

Měření elektrické energie se dlouhou dobu dělalo pomocí mechanických elektroměrů. Tyto elektroměry fungovaly na principu indukčního zákona a dokázaly měřit pouze celkovou spotřebovanou energii činného charakteru. Odebraná hodnota se musela odečítat z počítacího strojku, přičemž mohla u tohoto úkonu nastat snadno chyba. Jelikož se jedná o mechanický přístroj, tak u mechanického elektroměru docházelo k opotřebení dílů a pokud nebyly zavčas vyměněny, tak i k poškození přístroje. Díky vývoji elektroniky se začaly vyrábět statické elektroměry, které mají oproti mechanickým elektroměrům spoustu výhod. Například dokáží kromě měření celkové spotřeby elektrické energie nabídnout měření většího množství veličin. Mají mnohem menší vlastní spotřebu, měří s větší přesností při malých proudech a snadněji se ze statických elektroměrů odečítá spotřebovaná energie. Další jejich výhody budou dále zmíněny v této práci.

Hromadné dálkové ovládání je systém, který se využívá pro silnoproudou rozvodnou síť. Skládá se z vysílačů, jenž se umísťují v rozvodnách, nejčastěji 22 kV nebo 35 kV. Odtud se po vedení distribuční sítě, kterou nazýváme v tomto případě přenosovou cestou, odesílá signál z vysílačů až do přijímačů HDO, které se nachází v domácnostech, kde přijímač přepne podle situace na vyšší nebo nižší tarif. Systémy HDO spínají, pokud je v elektrické síti přebytek výkonu anebo pokud dojde v síti k havárii. Zapínají potom například v domácnostech vytápění, ohřev vody a podobné.

2 Měření elektrické energie

Elektroměr je přístroj, který vznikl za účelem měření elektrické energie neboli měření výkonu elektrického proudu, jak stejnosměrného tak i střídavého, odebraného ze sítě. U odběratele je nainstalován distributorem elektrické energie. Po většinu 20. století se k měření odebrané elektrické energie používaly mechanické indukční elektroměry. Jejich funkce je založena na Ferrarisově principu posuvného magnetického pole. Jejich využití se ale omezuje pouze na odebranou energii, proto se také díky vývoji elektroniky zhruba před třiceti lety začaly používat elektroměry z elektronických součástek. Ty nemají žádné pohyblivé díly, a proto se jim také říká statické.



Obr. 1 Porovnání elektroměrů [8]

Dělení podle principu elektroměru

- Indukční elektroměry
- Statické elektroměry

Dělení podle druhu měření energie

- Měření pouze činné energie
- Měření pouze jalové energie
- Měření činné i jalové
- Vícesazbové elektroměry

Dělení podle měření odběru či dodávky

- Měření odběru
- Měření dodávky
- Měření odběru nebo dodávky

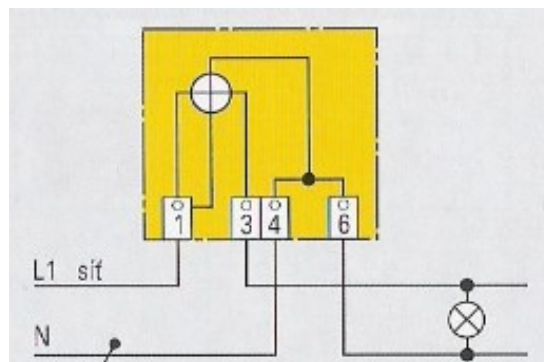
2.1 Indukční elektroměry

Jednofázový elektroměr

Indukční jednofázový elektroměr využívá hliníkového kotoučku, který se nachází ve vzduchové mezeře dvou elektromagnetů. Vířivé proudy vzniklé indukcí v kotoučku elektromagnetu spolu s magnetickými poli těchto dvou elektromagnetů vytvoří pohybový moment. Pod kotoučkem je umístěna proudová cívka na dvouramenném jádře, kterou protéká měřený proud. Nad ústrojím je napěťová cívka na trojsloupkovém jádře. Díky tomu, že má napěťová cívka uzavřené železné jádro, má velkou indukčnost oproti proudové cívkce, a proto je při měření činné zátěže fázový posun mezi magnetickými toky dvou zmíněných cívek skoro 90° . Díky těmto magnetickým tokům vzniká točivé magnetické pole podobně jako u jednofázového indukčního motoru, jenž začne točit hliníkovým kotoučkem, kterým tečou vířivé proudy. Velikost točivého momentu je úměrná velikosti proudu v proudové cívkce. Aby bylo zabráněno rychlejší otáčkám kotouče, jež by neodpovídaly odebíranému proudu nebo aby se kotouček netočil setrvačností při zastavení průtoku proudu či při pouhém poklesu, je zařazen do indukčního elektroměru brzdící magnet. Ten vytváří v kotoučku vířivé proudy a ty těmto stavům zabraňují. Otáčející se ústrojí pohání mechanický čítač s převodem, takže zobrazený údaj na počítadle se rovná spotřebě v kWh. Elektroměr má konstantu k , která udává kolikrát se musí kotouček otočit, aby spotřeba odpovídala 1 kWh. U jednofázových bytových elektroměrů je obvykle $k=375$ a u trojfázových elektroměrů $k=75$.



Obr. 3 Jednofázový indukční elektroměr [5]



Obr. 2 Jednofázový elektroměr, schéma zapojení [3]

Rovnice pro pohybový moment

$$M_p = k' \omega \Phi_{1m} \Phi_{2m} \sin \psi$$

Když bude fázový posun toků $\psi = 90^\circ$, tak nastane největší moment. Pokud budou ale tyto toky ve fázi, tedy že $\psi = 0^\circ$, tak nenastane pohybový moment a kotouček bude stát. Pokud budou mít tyto magnetické toky sinusový průběh, můžeme tento vztah pro pohybový moment zjednodušit na:

$$M_p = k' \omega I_{1max} I_{2max} \sin \psi$$

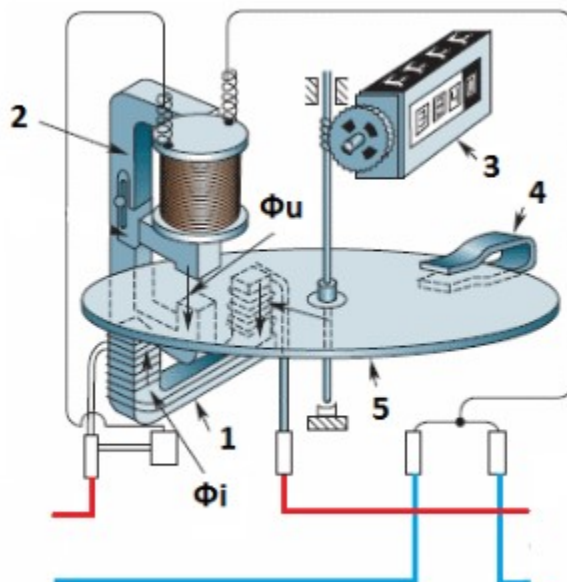
Zde se Φ_{1m} a Φ_{2m} nahradilo proudy I_{1max} a I_{2max} , což jsou amplitudy proudů obou cívek. Proud v proudové cívce, jenž teče spotřebičem, je opožděn ve srovnání s napětím o úhel φ .

$$\psi = \varphi - \frac{\pi}{2}$$

Díky krátké úpravě dostaneme konečnou rovnici pro pohybový moment:

$$M_p = k_p UI \cos \varphi$$

Z výsledné rovnice pro pohybový moment můžeme vidět, že je úměrný činnému výkonu střídavého proudu. Indukčními neboli elektromechanickými elektroměry můžeme měřit činný, ale i jalový výkon. Výhradně se ale používá v současné době na měření elektrické práce. Je výhodný zejména proto, že jeho moment nezávisí na poloze kotoučku a že se kotouček může otáčet trvale bez omezení, což u jiných měřících ústrojí není možné.



Obr. 4 Jednofázový indukční elektroměr konstrukce [18]

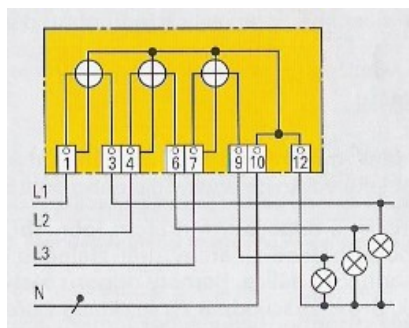
1 - proudové nebo sériové vinutí (cívka) 2 - paralelní cívka (vinutí) nebo napěťová cívka 3 - počítací mechanismus ve formě šnekové převodovky 4 - permanentní magnet pro vytváření brzd a hladký chod disku 5 - hliníkové kolo Φ_i – magnetický tok, který je generován zatěžovacím proudem Φ_u je magnetický tok generovaný proudem v napěťové cívce

Vlastnosti indukčních elektroměrů

- Používají se pouze k měření spotřeby elektrické energie
- Jejich provoz je vymezen jen pro kmitočet sítě 50 Hz
- Mají velkou spotřebu 15 až 20 VA
- Chyby standartních elektroměrů v domácnostech jsou $\pm 3 \%$, u velkých odběrů jen $\pm 0,2\%$
- Proudové obvody snesou přetížení až 100%
- Teplotní závislost se neprojevuje
- Vliv cizích magnetických polí na elektroměr je zanedbatelný

Třífázový elektroměr

Používá se pro měření činné energie při přímém zapojení do obvodu. Záleží na tom, jestli se používají v síti se třemi vodiči nebo v síti se čtyřmi vodiči. Podle toho se dále vyrábějí se dvěma nebo třemi měřícími ústrojími. V České republice má třífázová soustava nízkého napětí pokaždé vyveden střední vodič, tudíž elektrickou práci měříme elektroměry se třemi měřícími ústrojími. Na společné hřídeli jsou umístěny dva kotouče, na dolní působí dvě měřící ústrojí a na horní jedno měřící ústrojí. Počítadlo potom udává součet elektrické práce změřené ústrojími v jednotlivých fázích. Tyto mechanické elektroměry jsou schopny měřit jen činnou energii. Na každý kotouček působí magnetické síly vzniklé napětím a proudem téže fáze. Spotřebu pouze v jedné fázi je trojfázový elektroměr schopen měřit v předepsané přesnosti, ale musí mít z důvodu vyváženosti systému napěťově připojeny fáze všechny tři.



Obr. 6 Třífázový elektroměr, schéma zapojení [3]



Obr. 5 Třífázový indukční elektroměr [2]

Brzdící magnet

Brzdící magnet má dvě tělíška z anizotropní slitiny AlNiCo s vysokým energetickým součinem, která jako celek tvoří dvoustopý magnet a jsou otáčivě upevněna v držáku z hliníkové slitiny s ocelovými póly. Magnetické pole magnetu omezuje vibrace kotouče a tím působí příznivě na životnost elektroměru. Mezi tělíšky je upevněna destička z teplotně závislé slitiny, která slouží pro kompenzaci vlivu teploty okolí na přesnost elektroměru. Magnetická stálost je zajištěna druhem použitého materiálu, postupy magnetizace a stabilizace. Poloha magnetu je zajištěna silnou pružinou s centrickým upevněním.

Počítací strojek

Počítací jednosazbový strojek

Počítací jednosazbový strojek má tvar válečku, je sedmimístný a vyrábí se ve dvou provedeních, které se liší velikostí válečků a jejich číslic. Menší válečky jsou z hliníku nebo z plastu, tyto strojky mohou být i šestimístné. Číselný údaj je výrazný, takže se dá spolehlivě odečíst i při umístění elektroměru ve větší výšce nebo za jiných ztížených podmínek. Působením skokového účinku se číselný údaj mění najednou a neobjeví se neurčitá hodnota s polovičními číslicemi, což je velká výhoda pro odběratele, jelikož tak nemůže dojít k chybě při odečtení spotřeby elektřiny. Pokud je to ale žádané, mohou být strojky s velkými válečky i bez skokového účinku.



Obr. 7 Počítací strojek HF6[6]

Dvojsazbový počítací strojek

Dvojsazbový počítací strojek má dva válečkové sedmimístné nebo šestimístné číselníky s menšími číslicemi. Přepínání mezi nízkou a vysokou sazbou se provádí pomocí výkyvné osy ovládané elektromagnetem přes přepínací páčku s ukazatelem sazeb a s blokovacími západkami. Elektromagnet se ovládá napětím sítě přivedeným na samostatné svorky přes sazbových spínač, přijímač hromadného dálkového ovládnání nebo jiné spínací zařízení.



Obr. 8 Počítací strojek L7 [6]

2.2 Statické elektroměry

Pražská energetika roku 1998 došla k historické změně v měření spotřeby elektrické energie. Do této doby se spotřeba elektřiny měřila pouze mechanickými indukčními elektroměry na Ferrarisově principu. Tyto elektroměry byly již na hranici svých technických možností a jejich vlastnosti již nešlo dále výrazně zlepšovat, a tak byly postupně nahrazovány novým, elektronickým typem. S rozvojem elektroniky se začaly používat elektroměry využívající elektronické součástky. Těmto elektroměrům se říká statické, protože nemají žádné pohyblivé součástky. Tyto elektronické elektroměry jsou přístroje odpovídající současnému stavu elektroniky a trendu měřicí techniky. S klesající cenou elektronických součástek a zvyšující se spolehlivostí se cena přiblížila cenám mechanických elektroměrů, a proto se elektronické elektroměry postupně zavádějí i u maloodběratelů, odebírajících elektřinu z nízkého napětí. Elektronické elektroměry tvořící novou generaci v oboru měření odběru elektrické energie plně využívají možností, které nabízejí aplikace moderní součástkové základny, včetně mikroprocesorů a speciálních obvodů s možnostmi, které nabízí příslušný software. Tyto prostředky výrazným způsobem zvýšily užitnou hodnotu elektroměru, neboť tento přístroj je schopen poskytnout komplexnější pohled jak na okamžité parametry elektrické sítě, tak na širší škálu dlouhodobě sledovaných hodnot.



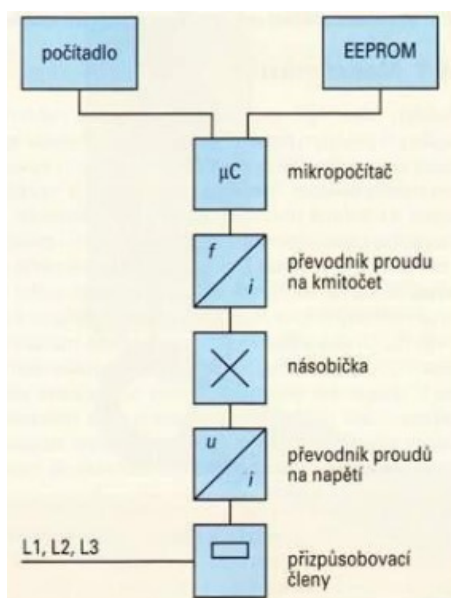
Obr. 9 Statický elektroměr [20]

2.3 Elektronické impulzní elektroměry

Na rozdíl od indukčního elektroměru se u měření spotřeby nevychází z počtu otáček kotoučku, ale z počtu impulzů elektronického wattmetru a konstanta elektroměru se udává v impulzech na 1 kWh.

„Konstrukce statických elektroměrů odpovídá tradičnímu osvědčenému pojetí a je navržena tak, aby odolávala náročným provozním podmínkám, umožňovala snadnou provozní manipulaci a měla zvýšenou odolnost proti neoprávněným odběrům elektřiny. Na rozdíl od mechanických elektroměrů jsou statické elektroměry rozměrově menší a váhově lehčí. Statický elektroměr je vybaven tzv. optorozhraním, prostřednictvím kterého se pomocí optohlavy přiložené na určené místo pouzdra elektroměru uskutečňují odečty. Tyto odečty žádným způsobem neovlivňují výsledky měření odečítačem a jsou bezchybné. Hodnoty z elektroměrů již v některých případech odečítáme i dálkově prostřednictvím bezdrátové komunikace GPRS/GSM. V případě dvoutarifní sazby bývá součástí statických elektroměrů samostatný modul pro příjem hromadného dálkového ovládání. Další předností elektronických elektroměrů je, že mají menší náběhové proudy. To znamená, že dokáží změřit i domácí spotřebiče jako například televizi nebo video přehrávač.“ [12]

V současných domácnostech se používá řada spotřebičů, které jsou dlouhou dobu v pohotovostním režimu a jejich proudový odběr se pohybuje právě v oblasti jednotek procent základního proudu elektroměru.



Obr. 10 Blokové schéma statického elektroměru [2]

- Přizpůsobovací členy slouží pro vytvoření činných a jalových složek napětí. Napětí ze sítě a odebraný proud je transformován na hodnotu vhodnou k elektronickému zpracování.
- Převodník proudu na napětí vytváří napěťový signál přímo úměrný proudu.
- Násobička slouží jako zesilovač a vytváří proudový signál úměrný činnému výkonu.

- Převodník proudu na kmitočet generuje impulzní signály a tyto kmitočty jsou úměrné jalovému a činnému výkonu, který je odebíraný přes elektroměr. Počet impulzů je úměrný v souladu s konstantou elektroměru, např. 250 imp/kWh.
- V mikropočítači se uskutečňují výpočty spotřeby elektrické energie a dále se v mikropočítači ovládá přepínání režimů v elektroměru.
- EEPROM je paměť, ve které se uchovávají změřená data za určité období. Tyto data mohou být odeslána po vedení dodavateli elektrické energie do počítače.



Obr. 11 Statický elektroměr s modulem HDO [2]

Statické elektroměry mají oproti mechanickým elektroměrům hodně výhod:

- Poskytují měření výrazně většího počtu veličin, a tak se může dodavatel dozvědět více o struktuře odběru.
- Vlastní spotřeba statického elektroměru je menší než u mechanického.
- Dokáží měřit malé náběhové proudy a jsou schopny měřit s větší přesností při velmi malých proudech.
- Pomocí optického komunikačního rozhraní lze provést automatický odečet změřených veličin, kdy při tomto odečtu nemůže dojít k chybnému odečtu odečítající osobou.
- Statický elektroměr je schopný dálkového odečtu měřených veličin.
- Díky LCD displeji se může zobrazovat mnohem více informací než pouze množství spotřebované elektrické energie. Například zrovna měřený tarif či zhruba momentálně odebíraný výkon.
- Pomocí zkušební optického impulsního výstupu lze s větší citlivostí a spolehlivostí kalibrovat přístroj.
- Vlastní spotřeba činné energie napěťového obvodu se při změně tarifu nezvětší.

- Dokáží zapisovat počet výpadků v distribuční síti a tak mohou upozornit na možné neoprávněné zásahy na elektroměru.
- Jsou schopny měřit s větším počtem tarifů.

Odečet elektroměru mobilním ručním terminálem

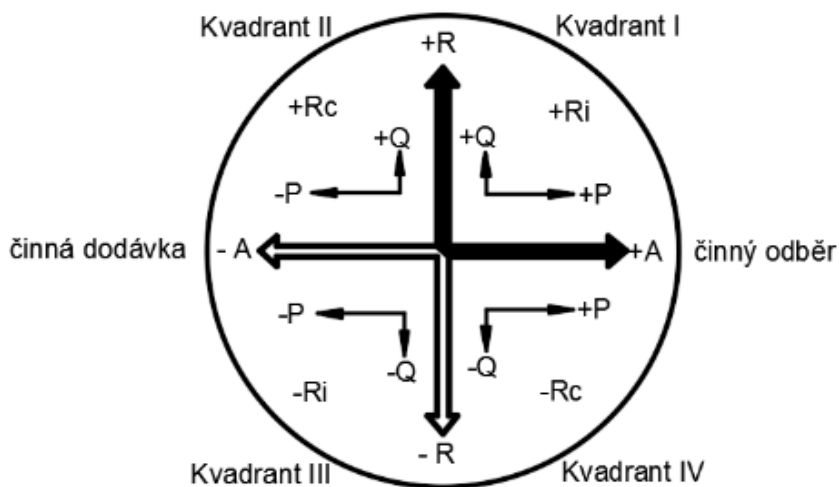
Nyní se provádí odečet elektrické energie na elektroměrech nejčastěji manuálně na místě u daného odběratele. U indukčních elektroměrů je důležité informace vyčtené z elektroměru zapsat ručně přímo do terminálu. Veškeré informace, které se zapíší do terminálu, se následně zpracují v počítači, do kterého hlavní počítač zadá základní údaje o zákazníkovi. Hlavní počítač následně obdrží odečtená data, zpracuje je a vytiskne fakturu. U statických elektroměrů se načítají informace pomocí optického rozhraní a dotykové klávesnice.

Přepínání tarifů

V distribuční síti může nastat stav, kdy je přebytek elektrické energie. Například při poruše v síti, v nočních hodinách nebo v době energetických špiček. Z tohoto důvodu jsou vytvořeny různé sazby za odběr elektrické energie. Nyní je standard, že se instalují u odběratelů elektrické energie jednofázové anebo třífázové statické elektroměry. Spínací prvek pro přijímač HDO je umístěn na krytu svorkovnice s přijímačem HDO. Spojení elektroměru s přijímačem HDO je velice výhodné, jelikož díky němu mohou odběratelé odebírat levnější elektřinu například pro ohřev vody nebo pro topení, a tak pomohou operátorům distribuční sítě při přebytku elektřiny v síti.

2.4 Čtyřkvadrantní elektroměr

Čtyřkvadrantní elektroměr dokáže na rozdíl od mechanických a statických elektroměrů, které umí měřit pouze odebranou elektrickou energii z elektrické sítě, měřit také elektrickou energii do sítě dodanou. To znamená, že pokud má odběratel elektrické energie například fotovoltaickou elektrárnu a bude splňovat podmínky pro dodávání elektrické energie do sítě, bude mu tento čtyřkvadrantní elektroměr měřit právě onu



Obr. 12 Kvadranty měření

dodanou elektrickou energii. V této práci se budu zabývat čtyřkvadrantním elektroměrem DB4, DC4. Měří ve čtyřech kvadrantech. V elektroměru jsou zálohované hodiny, které tvoří měřicí periodu a ovládají tarifní spínání.

Do paměti elektroměru se ukládají údaje o spotřebě v jednotlivých tarifech, stavy celkové spotřeby, stavy všech registrů při posledních odečtech a výkonová maxima v tarifech. Odečet pro fakturaci může probíhat buď automaticky dálkovým přenosem anebo pracovník dodavatelské firmy elektrické energie získá potřebné informace do ručního terminálu. Tyto elektroměry se pro měření odběru pokaždé zapojují jako třítarifní.



Obr. 13 Čtyřkvadrantní elektroměr SL7000 [23]

2.5 Přesnost měření

„Přesnost měření souvisí s použitými metodami měření, kvalitou použitých přístrojů a vlivy okolí. Souhrnně jako výsledek měření udáváme naměřenou hodnotu korigovanou o odchylku (chybu) metody a tolerančním polem definujícím oblast, ve které se skutečná konvenčně pravá hodnota nachází. Přičemž šířka uváděného tolerančního pole může být různá podle toho, s jakou pravděpodobností udáváme výsledek. Pro případ větší jistoty (vyšší pravděpodobnost), že se konvenčně pravá hodnota nachází v daném intervalu, bude i šířka intervalu tolerančního pole větší. Šířka intervalu tolerančního pole je nejistota měření a uvádíme ji s komentářem, s jakou pravděpodobností se v daném intervalu konvenčně pravá hodnota (skutečná hodnota) nachází. Čím kvalitnější měření požadujeme, tím je interval menší a toleranční pole užší. Tento požadavek úzce koresponduje s kvalitou použité měřicí techniky. Nejistota měření tedy charakterizuje rozptyl naměřených hodnot. Vyhodnocením nejistot měření se zabývá norma ČSN EN 60359 „Elektrická a elektronická měřicí zařízení – Vyjadřování vlastností“. Toto je kvalitativně vyšší přístup k udávání výsledku měření. Norma navazuje na dosavadně platný postup vyhodnocení chyby měření a uvádí použití statistických metod při vyjadřování nejistoty měření.“ [22]

Odchylka měření

Odchylka měření je definována jako rozdíl mezi hodnotou naměřenou a skutečnou. Jelikož ale neznáme skutečnou hodnotu, tak mluvíme o konvenčně pravé hodnotě, která právě tuto skutečnou hodnotu nahrazuje.

Absolutní chyba měření

Absolutní chyba měření je algebraický rozdíl mezi změřenou hodnotou a hodnotou konvenčně pravou. Jednotka absolutní odchylky bude stejná jako jednotka členů ve vzorci.

$$\Delta X = X_M - X_S$$

ΔX -absolutní chyba

X_M -měřená hodnota

X_S -konvenčně pravá hodnota

Relativní odchylka měření

Relativní odchylka měření je bezrozměrná a může se udávat v poměrné hodnotě anebo v procentech. Vyjadřuje poměrnou hodnotu absolutní odchylky vztažené k měřené hodnotě.

Relativní chyba v poměrné hodnotě

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_M}$$

Relativní chyba v procentech

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_M} 100$$

Korekce naměřené hodnoty

Korekce naměřené hodnoty je oprava naměřené hodnoty tak, aby eliminovala absolutní odchylku. A proto má korekce naměřené hodnoty opačné znaménko než absolutní odchylka. Platí, že pokud sečteme korekci s naměřenou hodnotou, tak získáme konvenčně pravou hodnotu. Korekce vynesena do grafu v celém rozsahu délky stupnice přístroje se nazývá korekční křivka.

$$K = -\Delta = X_S - X_M$$

Odchylka měřicího přístroje

Kvůli nedokonalé výrobě měřicího přístroje a jeho provedení vzniká odchylka měřicího přístroje. Výrobce měřicího přístroje udává třídu přesnosti, která vymezuje toleranční pole, ve kterém se nachází měřená konvenčně pravá hodnota. Velikost tolerančního pole pro největší možnou odchylku je závislá na více veličinách, které ovlivňují přesnost daného měření. Jedná se zejména o vliv rušivých elektromagnetických polí, teplotu, tvar a kmitočet měřeného signálu. Chyba může být způsobena i obsluhou při odečítání, která nepřesně odečte hodnoty rovnou z přístroje, který měří danou veličinu. Odchylka, která všechny tyto chyby zahrnuje, a tak je největší možnou odchylkou, se nazývá „Celková maximální odchylka měření“. Někdy se nemusí s těmito vlivy počítat a mohou se zanedbat, ale obvykle, a to hlavně u praktického měření v průmyslu, provádíme při výpočtech korekci naměřené hodnoty, aby se tak eliminoval vliv nepříznivých okolností. Odchylku údaje měřicího přístroje obecně dělíme na dva druhy – relativní odchylku a absolutní odchylku.

Třída přesnosti

Třída přesnosti se obvykle najde na předním panelu přístroje. V praxi se používá pro vyhodnocení relativní anebo absolutní odchylky. Třída přesnosti vypovídá, jak kvalitní daný přístroj je a definuje, jaká může být mezní a to maximální dovolená absolutní odchylka v celém měřicím rozsahu přístroje. Je vyjádřena v procentech a udává ji přímo výrobce měřicího přístroje.

$$\delta_{Tp} = \frac{|\Delta_P|}{X_R} 100$$

T_p -třída přesnosti měřicího přístroje

Δ_P -maximální dovolená absolutní odchylka měřicího přístroje

X_R -rozsah měřicího přístroje

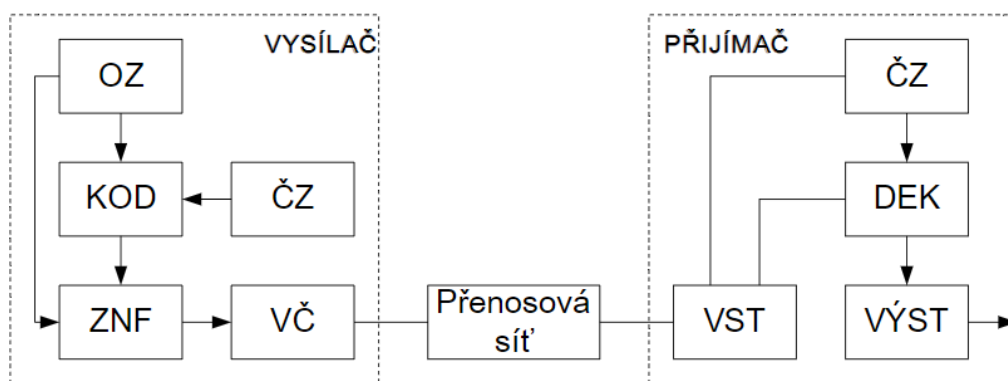
Třídy přesnosti jsou dány normou IEC a pohybují se v těchto hodnotách:

$T_p=0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 5,0$

3 Hromadné dálkové ovládání

Hlavní význam hromadného dálkového ovládání je v oblasti elektroenergetiky u řízení odběru elektrické energie. Systém HDO má ale i další uplatnění, a to při ovládání světelných reklam, svolávání požárních sborů nebo třeba při ovládání veřejného osvětlení. Fungování systému HDO je bez zpětného hlášení o provedení povelu na přijímacím místě. HDO je systém přenosu informace, který pracuje tak, že z jednoho centrálního bodu, kterému se říká vysílač, se vyše informace současně do mnoha přijímacích míst, do přijímačů HDO u odběratelů elektrické energie. Systém HDO využívá jako přenosovou cestu vedení distribuční soustavu. Jak bylo tedy výše zmiňováno, systém HDO je tvořen z vysílače, který je statický nebo rotační měnič frekvence a má svou řídicí automatiku. Dále z přenosové cesty, která je tvořena elektrickým distribučním vedením a nakonec z přijímačů HDO. Přijímače jsou přístroje, které vyhodnotí vysílaný signál a podle svého nastavení ovládají elektrické spotřebiče. Nejčastěji se napojují vysílače HDO převážně na hladinu VN a to je 22 a 35 kV, ve výjimečných případech i na hladinu VVN 100 kV. Norma ČSN 33 4570 udává základní požadavky pro provoz systému HDO. Hlavní pravidlo je, že systém HDO nesmí omezit normální chod elektrizační a že hodnota signálu HDO nesmí být vyšší než 5 % fázového napětí a to je pro distribuční síť 11,5 V z 230 V. Norma ČSN 33 4570 určuje celkem 15 hodnot ovládacích frekvencí a pro tyto frekvence je stanovena největší možná délka vedení pro ovládanou oblast. V České republice se užívají hlavně tyto ovládací frekvence HDO :183,3; 191;194; 216,6; 283,3; 425; 760; 1060 Hz.

Je důležité, aby v elektrizační soustavě byla stále vyrovnaná jak bilance jalových výkonů tak činných, aby rezervy energetických zdrojů nebyly vyčerpány a nedocházelo k extrémním špičkám minima nebo maxima. Protože odběrných míst je nesrovnatelně více, než je míst výroby elektrické energie, je regulování a řízení odběru elektrické energie podstatně složitý problém a proto se používá systém HDO. HDO je řídicí systém, který pomocí vyslaného signálu po vedení sítě je schopný zapínat a vypínat elektrická zařízení.



Obr. 14 Blokové schéma HDO [17]

OZ-Ovládací zařízení, ZNF-zdroj nosné frekvence, KOD-kódovací zařízení, ČZ-časová základna, VČ-vazební člen, VST vstupní obvod, DEK dekodovací obvod, VÝST výstupní obvod

3.1 Velkoodběr

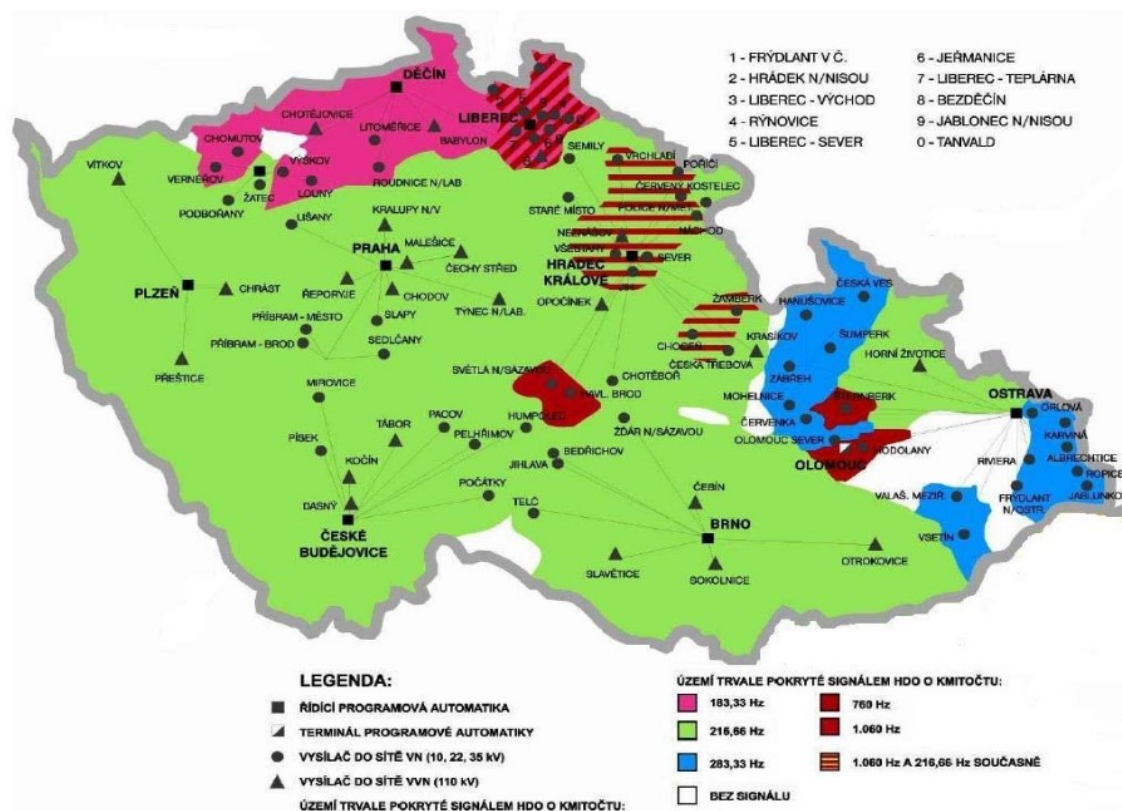
Spotřebu u velkoodběratelů je možné ovládat pomocí sjednaných odběrových diagramů. Velkoodběratelé si sjednávají s dodavatelem elektrické energie na kalendářní rok tzv. technické maximum. Je to čtvrt hodinové maximum, které nesmějí překročit v průběhu celého roku. Případné překročení smlouveného technického maxima opravňuje příslušný rozvodný podnik k odpojení velkoodběru. Dále mohou být sjednávána čtvrt hodinová maxima i na jednotlivé měsíce. Když je odběratel překročí, znamená to pro něho finanční postih ze strany rozvodného podniku. Kromě těchto výkonových hodnot je rovněž sjednávána hodnota odebrané elektrické energie i na příslušný měsíc. Tato hodnota elektrické energie se musí pohybovat v daných tolerancích. Při nedodržení těchto tolerancí je rovněž odběratel finančně znevýhodněn. Dalším prostředkem regulace velkoodběrů je vyhlásování regulačních stupňů. Tento prostředek působí na velkoodběratele okamžitě v případě havárie v elektrizační soustavě. V současné době mohou být vyhlášovány i tzv. ekologické regulační stupně, které při špatných rozptylových podmínkách v atmosféře umožňují snížit výkony klasických tepelných elektráren.



Obr. 15 Vysílače HDO pro síť VN [16]

3.2 Maloodběr

Maloodběr je složitější. S přibýváním elektrických akumulárních spotřebičů se v domácnostech začaly aplikovat tzv. spínací hodiny. Funkce spínacích hodin spočívá v tom, že umožňují zapojení spotřebičů v domácnosti pouze v určené době, například od 23 do 7 hodin. Proto se začaly používat dvousazbové elektroměry, které umožňovaly v této době přepnout elektroměr na NT a odběratel tak odebíral elektrickou energii za nižší cenu. V místech, kde byla velká koncentrace těchto akumulárních spotřebičů, docházelo k tomu, že největší zatížení sítě bylo právě v nočních hodinách. Tím se vytvořila místní elektrická špička. Z toho důvodu se začal zavádět systém HDO, díky kterému bylo možné ovládat i tyto spotřebiče.



Obr. 16 Mapa ČR s vysílači HDO [19]

3.3 Části, ze kterých se skládá systém HDO

- Vysílače
- Přenosová cesta
- Přijímače

Vysílače

Podle výkonu

- Vysílače malého výkonu do 10 kVA
- Vysílače středního výkonu 10–300 kVA
- Vysílače velkého výkonu nad 300 kVA

Podle připojení k síti

- Vysílače s paralelní vazbou na síť
- Vysílače se sériovou vazbou na síť
- Vysílače se sériovou vazbou do středního vodiče

Podle způsobu provozu

- Samostatné vysílače
- Podružné vysílače
- Vykrývací vysílače

HDO vysílače mohou být statické nebo rotační zdroje ovládací frekvence. Dispečink ovládá vysílače rovnou z elektrických stanic, kde se vysílače nachází a tady je také umístěna ovládací automatika pro dané frekvenční měniče anebo může dispečink ovládat vysílače pomocí příslušné automatiky. Vysílače se ovládají přímo z místa pouze tehdy, je-li v poruše přenosová cesta řídicího signálu nebo ústřední automatika či pro vyhodnocení signálu HDO měřením. Řídicí signál putuje po přenosové cestě a ta je tvořena nejčastěji dispečerským kabelem nebo vf přenosem po elektrickém vedení nebo bezdrátovým přenosem vf. Nyní jsou přenosy tvořeny optickými vlákny a ty se umísťují v zemním lanu. Aby nebyly vysílače zatěžovány síťovým kmitočtem, jsou v sítích VN nebo VVN spojeny vazebním filtrem. Vazební člen funguje jako pásmová propust a tak zařídí, že se signál HDO do sítě dostane. V sítích VN se vysílače HDO umísťují do budov, přičemž vazební filtr je v jejich těsné blízkosti.



Obr. 17 Vysílač HDO [16]

Vysílače HDO do sítí VVN (110 kV) se konstruují pouze ve venkovním provedení vazebních filtrů. Statický měnič, kondenzátorová baterie C1 a řízení vysílače se umísťuje do domku HDO, zde se nachází i rozvaděč vlastní spotřeby vysílače, popřípadě i ochrany vývodu 110 kV. Venkovní část vazebních filtrů se skládá z vazebních transformátorů, kondenzátorové baterie C2, zemních nožů 110 kV sloužících pro deaktivaci (odpojení) vazebního transformátoru od sítě 110 kV a popřípadě i skříně L2C2 sloužící k optimalizaci elektrických parametrů vazebních filtrů v zimním a letním období.

Přijímače se mohou dělit podle

- počtu silových kontaktů
- podle počtu ovládaných skupin spotřebičů na jednopovelové a třípovelové

Přijímače se dělí podle hodnoty ovládací frekvence a podle impulsního povelového kódu

- impuls – mezera
- impuls – impuls

A dále se ještě dělí přijímače HDO přijímače na

- elektronické
- elektromechanické.

Elektromechanické přijímače se už nyní nevyrábějí, nicméně v síti se stále ještě vyskytují.

Na přijímače signálu HDO jsou kladeny jak z důvodu bezpečnosti, tak i z kvality služby technické parametry.

- Selektivita přijímače musí odpovídat normě (bývalá norma OEG 38 2530). Je udána příslušná selektivní křivka.
- Při hodnotě signálu HDO, který je menší než 0,3% napětí sítě, nesmí přijímač reagovat ani při přesném ovládacím kmitočtu.
- Přijímač HDO se u spotřebitele zapojuje před hlavní jistič, je jištěn samostatným jističem, který musí být plombovatelný v zapnutém stavu.
- Spínací schopnost silových kontaktů při odporové zátěži musí být nejméně 2 A při 50 Hz.
- Citlivost přijímače HDO je 0,72% napětí sítě a musí být přepínatelná nejméně ve dvou stupních nebo plynule do hodnoty 1,2% napětí sítě.



Obr. 19 Přijímač HDO [15]

3.4 Kódy pro systém HDO

V České republice udává norma ČSN 33 4570 pro systém HDO celkem tři možné impulsní povelové kódy: Sériový impulsní povelový kód, Zmnožený impulsní paralelní povelový kód a Základní impulsní paralelní povelový kód. Zmnožený impulsní paralelní povelový kód se u nás nepoužívá a tak zde nebude uveden.

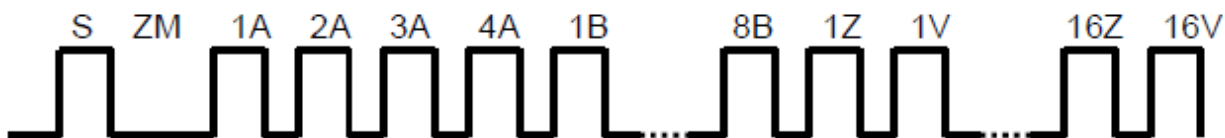
Sériový impulsní povelový kód

Pro nízké frekvence se využívá sériový impulsní povelový kód, a to pro frekvenci 216,6 Hz. Tyto ovládací frekvence dokáží ovládat hodně rozlehlé oblasti, a tak mohou být v určitých situacích vysílače napojeny i na síť 110 kV.

Sériový impulsní povelový kód se skládá ze:

- startovacího impulsu (S),
- zabezpečovací mezery (ZM)
- prvé předvolbové skupiny (A1 – A4)
- druhé předvolbové skupiny (B1 – B8)
- sériově vyjádřených dvojpovelů 1–16 zapnout (Z) a vypnout (V).

To znamená, že stav vypnout nebo zapnout může být vyjádřen tímto následujícím způsobem. Nejprve se vyšle startovací impuls, poté se vyšle zabezpečovací mezera, dále jeden impuls předvolby A, jeden nebo i více impulsů předvolby B a nakonec příslušné povelů Z, jako zapnout nebo V jako vypnout. Nebude-li vyslán příslušný povelový impuls, tak zůstane stav přijímačů nezměněn až do vyslání dalších impulsů s opačnou funkcí.



Obr. 20 Časový průběh sériového impulsního povelového kódu [21]

Délku telegramu stanovuje norma a to na dobu 64 sekund. Norma stanovuje čas jednotlivých částí. Tento sériový impulsní povelový kód dokáže odeslat dohromady až 512 odlišných dvojpovelů. Telegram má i zabezpečovací část a to v první předvolbě A. V ní může být odeslán jen jediný impuls, v obráceném případě bude následující činnost přijímačů zablokována.

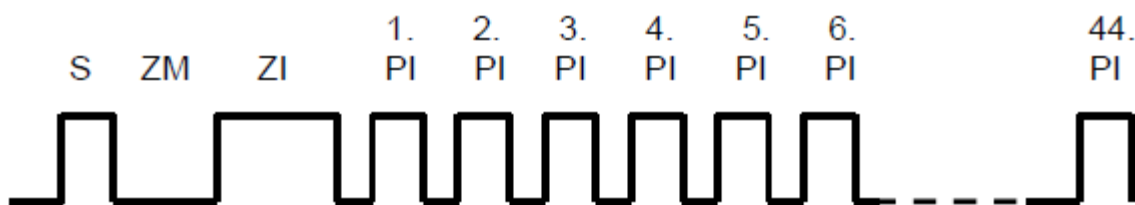
Sériovému impulsnímu povelovému kódu se také říká systém povelů "impuls – impuls".

Základní impulsní paralelní povelový kód

Základní impulsní paralelní povelový kód se skládá z těchto částí:

- startovací impuls (S)
- zabezpečovací části (zabezpečovací mezera ZM a zabezpečovací impuls ZI)
- povelové části (44 povelových impulsů PI).

Celý telegram trvá stejně jako sériový impulsní povelový kód 64 sekund. Paralelní impulsní povelový kód se využívá pro ovládací frekvence 425, 750 a 1050 Hz. U tohoto typu kódu je stav zapnout nebo nechat zapnuto vyjádřen vysláním povelového impulsu v příslušném povelovém intervalu. Stav vypnout nebo i nechat vypnuto může být vyjádřen neodesláním impulsu v náležitém povelovém intervalu. První část telegramu, které se říká startovací část telegramu, spustí činnost přijímače HDO. Falešnému působení přijímačů HDO zabráňuje zabezpečovací část telegramu. Nebude-li zachována přesně zabezpečovací část telegramu, bude přijímač zablokován a následující průběh telegramu nebude vyhodnocen.



Obr. 21 Časový průběh základního impulsního povelového kódu [21]

Pro paralelní impulsní povelové kódy se také používá název systém povelů "impuls - mezera"

3.5 Rušivé vlivy na provoz systému HDO

- závady, jenž mají rušivý vliv i na přenos elektrické energie
- rušivé působení, jenž může nastat při běžném pracovním provozu elektrizační soustavy

Závady přenosu elektrické energie

Závady, jenž působí nepříznivě na přenos elektrické energie, mohou rovněž nepříznivým způsobem ovlivnit přenosový signál systému HDO. Patří mezi ně hlavně pozastavení dodávky elektrické energie zákazníkům a to z jakékoliv příčiny. Jelikož bude porušena cesta pro elektrickou energii, bude tím pádem přerušena i cesta pro signál systému HDO. Poněvadž ale bude danou poruchou pozastavena dodávka elektrické energie spotřebiteli, není nutné, aby byl systém HDO v provozním stavu. Z tohoto důvodu se tyto závady v elektrické síti mezi poruchy systému HDO neřadí. Poté, co dojde k obnovení dodávky elektrického proudu, musí dispečer poslat opět signál a to takový, který uvede systém HDO do náležitého stavu. Mezi

další poruchy v elektrické síti, které už jsou pro systém HDO důležitější, se řadí takové poruchy, u kterých po uvedení sítě do provozního stavu porucha u systému HDO setrvává. Příčinou těchto poruch je nejčastěji přepětí, jenž může způsobit poruchu v některé části přijímače HDO. Po přivedení sítě do provozního stavu ovšem porucha přijímače trvá.

Rušivé vlivy při normálním provozu sítě

Kvůli těmto rušivým vlivům může dojít buď k zeslabení anebo i k zesílení signálu HDO nad 5% jmenovité hodnoty napětí sítě, eventuálně může dojít k deformaci odeslaného signálu HDO. K zeslabení nebo zesílení signálu HDO dochází kvůli rezonanci v elektrické síti. Signál HDO bývá nejčastěji zeslaben hlavně v kondenzátorech, protože kondenzátory mají při vyšších frekvencích menší reaktanci. Kvůli tomu se někdy kondenzátory, které se používají v elektrické síti pro kompenzaci účinníku, nahrazují tzv. hradíci členy. Tyto hradíci členy, což mohou být tlumivky nebo obvody LC, pracují jako frekvenční zadrž a eliminují vliv kondenzátorů pouze pro řídicí kmitočty. Další rušivý vliv je kvůli připojení nelineárních spotřebičů do sítě. Ty mohou za to, že se do elektrické sítě generují vyšší harmonické napětí a proudy. Vyšší harmonické napětí a proudy především při kmitočtu blízcím se řídicí frekvenci, mohou zapříčinit, že dojde zahlcení přijímačů HDO, jenž následně nemohou nereagovat na vysílaný telegram z vysílače, a tak dojde k chybnému fungování přijímače HDO. Výjimečně může dojít k tomu, že příslušná vyšší harmonická může způsobit jinou činnost přijímače HDO, než ke které mělo dojít, nicméně tyto případy nastávají zcela výjimečně.

4 Měření na jednofázovém indukčním elektroměru

Měření na elektroměru probíhalo v laboratoři EB015. Laboratorní úloha se prováděla na jednofázovém indukčním elektroměru, který byl napájen přes autotransformátor a zátěž byla tvořena řízenou zátěží.

Parametry elektrického obvodu.

- Napájecí střídavé napětí 230 V
- Rozsah proudu byl 0,5 až 2 A a regulován byl pomocí řízené zátěže
- Řízená zátěž byla tvořena odpory, induktory, kondenzátory

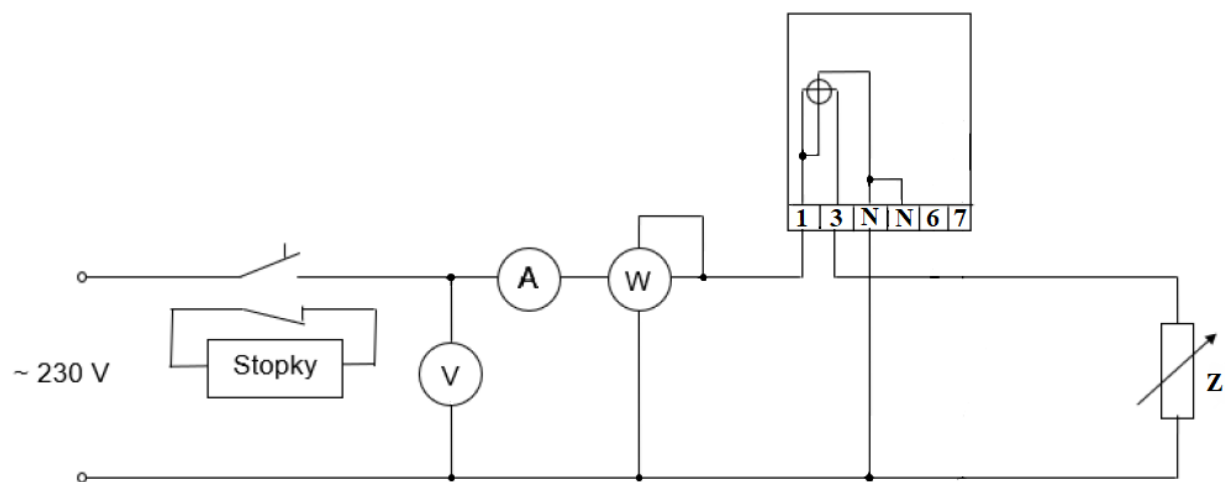
Použitá přístroje

- Voltmetr VOLTCRAFT VC 265
- Ampérmetr VOLTCRAFT VC 265
- Wattmetr EL 20 $\cos\varphi=1$, TP 0,2
- Stykač SCAME IP 55
- Elektroměr EJ 914D (230 V, 10-40 A, 50 Hz)
- Stopky OMRON H5CX
- Transformátor LTS 606 (250 V, 6 A)

Zátěž

- Řízená zátěž (230/400 V, 2 A, 50 Hz)

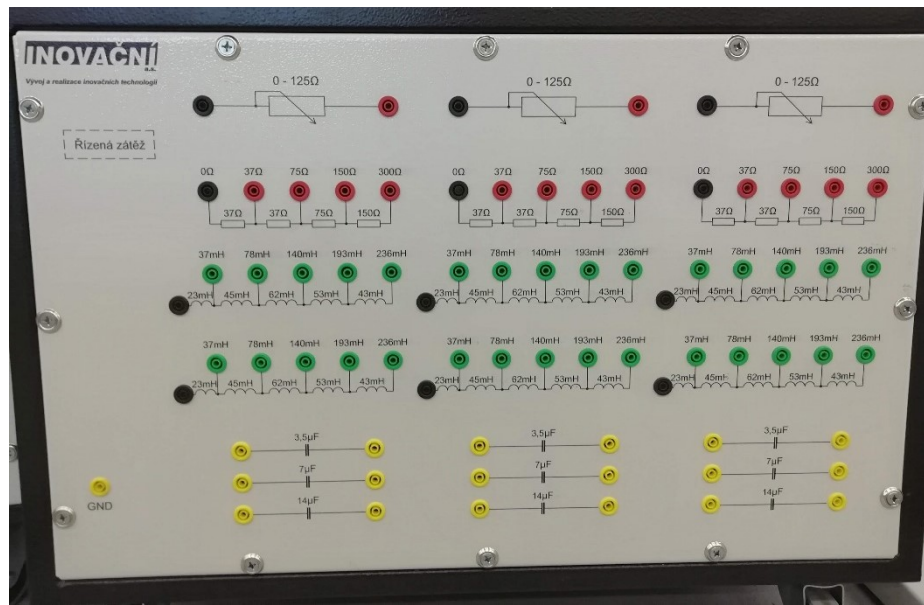
Schéma obvodu, na kterém bylo prováděno měření je na Obr. 22 a fotka zapojení obvodu je na Obr. 23, kde jsou uprostřed obrázku nezapojené kabely, které byly při měření zapojeny do řízené zátěže Obr. 24. Cílem měření bylo zjistit, jak bude elektroměr měřit zátěž odlišného charakteru, která se postupně skládala z odporů, z induktorů a z kondenzátorů, přičemž jsem měnil proud od 0,5 A po 2 A.



Obr. 22 Měření elektrické energie, schéma



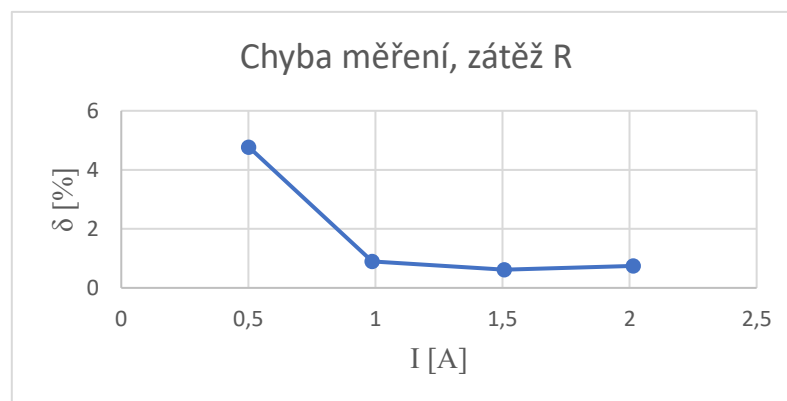
Obr. 23 Měření elektrické energie, zapojení



Obr. 24 Řízená zátěž

I (A)	U (V)	Otáčky (-)	t (s)	W (dílek)	k _w (W/dílek)	P (W)	cosφ
0,502	230,1	4	335,92	22	5	110	0,95
0,988	229,9	4	167,24	45	5	225	0,99
1,508	230,2	4	109,2	69	5	345	0,99
2,015	230	4	83,6	92	5	460	0,99

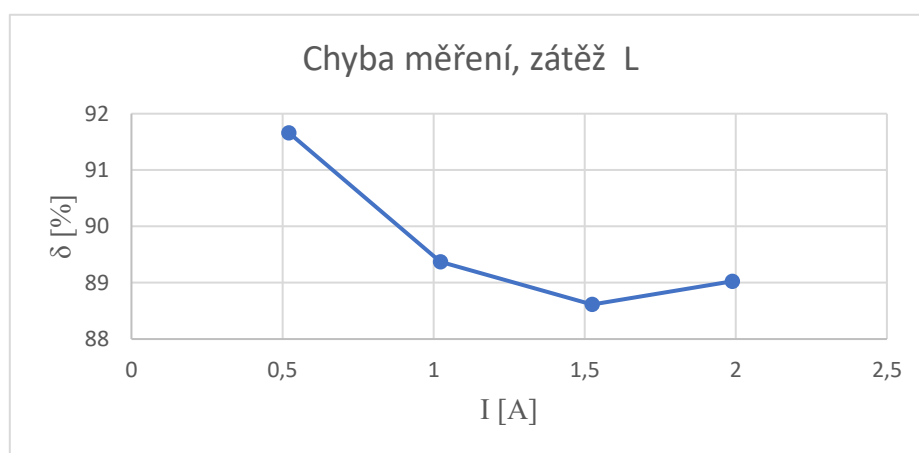
Tab. 1 Zátěž R



Graf 1 Chyba měření, zátěž R

I (A)	U (V)	Otáčky (-)	t (s)	W (dílek)	k_w (W/dílek)	P (W)	cosφ
0,521	230,2	4	3252,04	2	5	10	0,08
1,022	230,1	4	1355	5	5	25	0,11
1,524	230,5	4	953,04	8	5	40	0,11
1,988	229,2	4	763,72	10	5	50	0,11

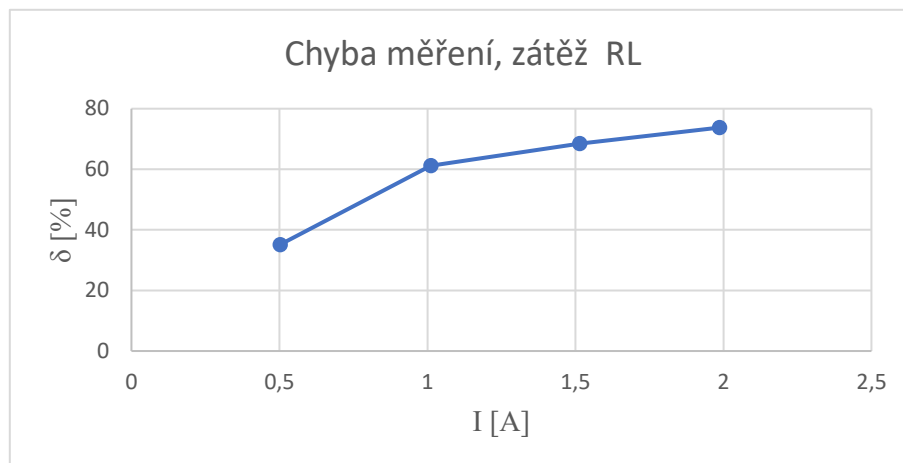
Tab. 2 Zátěž L



Graf 2 Chyba měření, zátěž L

I (A)	U (V)	Otáčky (-)	t (s)	W (dílek)	k_w (W/dílek)	P (W)	cosφ
0,502	230,3	4	486,52	15	5	75	0,65
1,011	229,2	4	403,24	18	5	90	0,39
1,514	230,7	4	351,84	22	5	110	0,31
1,987	230,2	4	319,28	24	5	120	0,26

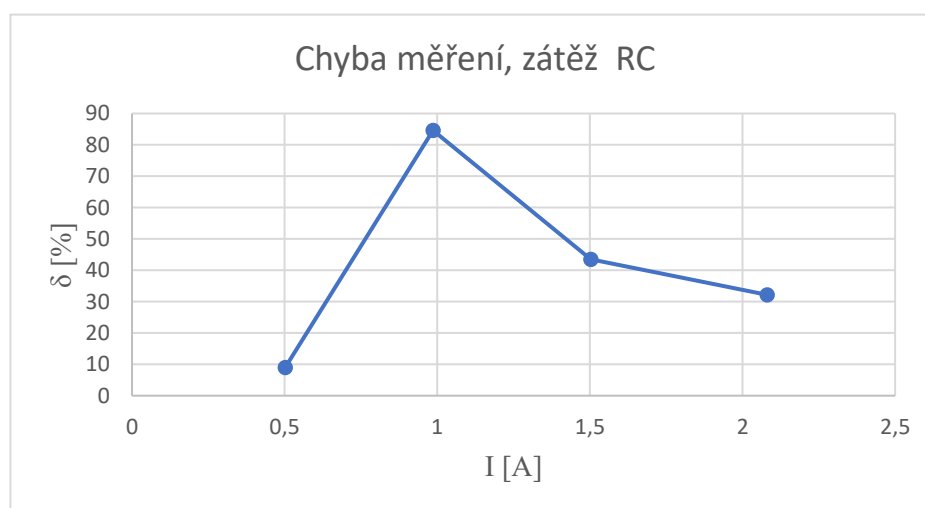
Tab. 3 Zátěž RL



Graf 3 Chyba měření, zátěž RL

I (A)	U (V)	Otáčky (-)	t (s)	W (dílek)	k_w (W/dílek)	P (W)	cosφ
0,502	229,9	4	397,2	21	5	105	0,91
0,986	230,6	4	1049,8	7	5	35	0,15
1,503	229,5	4	272	39	5	195	0,57
2,081	230,3	4	110,44	65	5	325	0,68

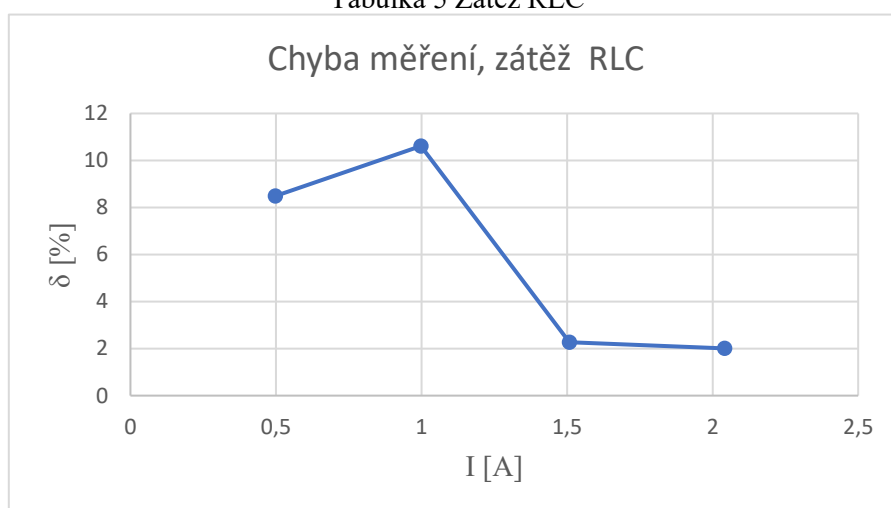
Tab. 4 Zátěž RC



Graf 4 Chyba měření, zátěž RC

I (A)	U (V)	Otáčky (-)	t (s)	W (dílek)	k_w (W/dílek)	P (W)	cosφ
0,498	230,4	4	398,04	21	5	105	0,92
0,998	229,8	4	184,2	41	5	205	0,89
1,508	230,7	4	112,84	68	5	340	0,98
2,041	230	4	85,44	92	5	460	0,98

Tabulka 5 Zátěž RLC



Graf 5 Chyba měření, zátěž RLC

Vyhodnocení:

U měření na mechanickém elektroměru jsem měřil různé charaktery zátěže. Měřil jsem zátěž R, L, RL, RC a zátěž RLC. Všechny změřené hodnoty jsou zpracované v tabulkách výše. Podle nich jsem vypracoval charakteristiky, na kterých lze vidět chybu měření v závislosti na proudu. Z těchto charakteristik vyplývá, že nejnižší chyba měření nastává u zátěže R. Na Graf 1 je vidět, že chyba měření klesá s rostoucím proudem, kdy se $\cos\varphi$ velmi blíží 1, což je také nejideálnější $\cos\varphi$ pro mechanický elektroměr. To pro odběratele znamená, že je výhodnější vyšší spotřeba elektrické energie, kdy dochází k přesnějšímu měření odběru elektřiny a odběratel tak nemusí dodavateli platit peníze navíc kvůli chybě měření.

Komentář:

Během tohoto měření jsem pomocí Řízené zátěže měnil charakter zátěže, abych zjistil, jak se bude kotouček na elektroměru při stejném proudu, ale při odlišném typu zátěže, otáčet. Jelikož jsem měl nastudováno, že kotouček roztáčí hlavně činná energie, tak jsem předpokládal, že se kotouček bude nejvíce otáčet, když bude zátěž tvořena jen odpory, což se mi následně potvrdilo.

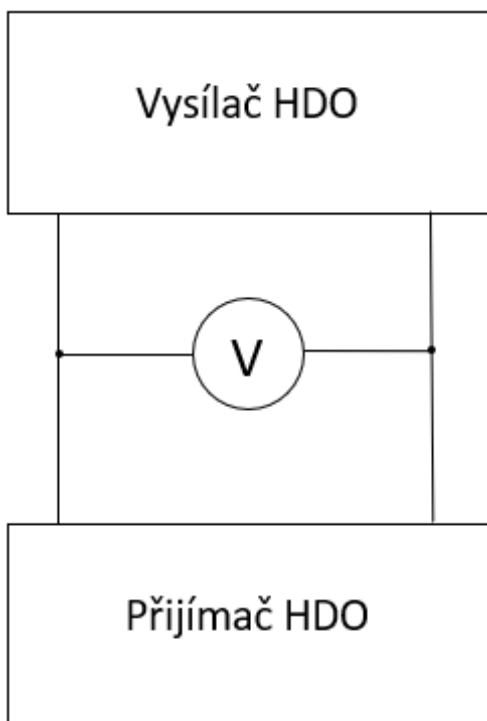
5 Měření na přijímači hromadného dálkového ovládání

Na přijímači HDO proběhly dvě laboratorní úlohy. První úloha spočívala v ověření přijímání signálu na přijímači FMX 300, který se odesílal ze zkušebního vysílače MPV01. Při druhé úloze jsem zkoumal frekvenční charakteristiku opět na přijímači FMX 300.

- RC Generátor BM 534
- Voltmetr Voltcraft VC 265
- Ampérmetr Voltcraft VC 265
- Vysílač HDO MPV01
- Přijímač HDO FMX 300 (220 V, 10 A, 50 Hz, 216,6 Hz)

5.1 Měření s HDO č.1, ověření přijímače HDO FMX 300

V této úloze jsem prováděl ověření přijímače HDO FMX 300 pomocí zkušebního vysílače MPV01. Schéma je Obr. 25 a vyfocené zapojení je na Obr. 26. Na vysílači jsem musel nejprve nastavit správný typ signálu I-I a zvolit správnou frekvenci 217 Hz, s kterou přijímač pracuje. Nakonec jsem nakódoval správné kódy pro jednotlivé kontakty a tento krok opakoval, jednotlivé kódy jsou zatržené v Tab. 6.



Obr. 25 Ověření přijímače FMX 300, schéma



Obr. 26 Ověření přijímače FMX 300, zapojení

101	A1,B1,	P1		162	A1,B4,	P14		223	A1,B8,	P11		284	A2,B4,	P8		A 1	5
102	A1,B1,	P2		163	A1,B4,	P15		224	A1,B8,	P12		285	A2,B4,	P9		A 2	6
103	A1,B1,	P3		164	A1,B4,	P16		225	A1,B8,	P13		286	A2,B4,	P10		A 3	7
104	A1,B1,	P4		165	A1,B5,	P1		226	A1,B8,	P14		287	A2,B4,	P11		A 4	8
105	A1,B1,	P5		166	A1,B5,	P2		227	A1,B8,	P15		288	A2,B4,	P12			
106	A1,B1,	P6		167	A1,B5,	P3		228	A1,B8,	P16		289	A2,B4,	P13			
107	A1,B1,	P7		168	A1,B5,	P4		229	A2,B1,	P1		290	A2,B4,	P14		B 1	9
108	A1,B1,	P8		169	A1,B5,	P5		230	A2,B1,	P2		291	A2,B4,	P15		B 2	10
109	A1,B1,	P9		170	A1,B5,	P6		231	A2,B1,	P3		292	A2,B4,	P16		B 3	11
110	A1,B1,	P10		171	A1,B5,	P7		232	A2,B1,	P4		293	A2,B5,	P1		B 4	12
111	A1,B1,	P11		172	A1,B5,	P8		233	A2,B1,	P5		294	A2,B5,	P2		B 5	13
112	A1,B1,	P12		173	A1,B5,	P9		234	A2,B1,	P6		295	A2,B5,	P3		B 6	14
113	A1,B1,	P13		174	A1,B5,	P10		235	A2,B1,	P7		296	A2,B5,	P4		B 7	15
114	A1,B1,	P14		175	A1,B5,	P11		236	A2,B1,	P8		297	A2,B5,	P5		B 8	16
115	A1,B1,	P15		176	A1,B5,	P12		237	A2,B1,	P9		298	A2,B5,	P6			
116	A1,B1,	P16		177	A1,B5,	P13		238	A2,B1,	P10		299	A2,B5,	P7			zap-vyp
117	A1,B2,	P1		178	A1,B5,	P14		239	A2,B1,	P11		300	A2,B5,	P8		P 1	17 - 18
118	A1,B2,	P2		179	A1,B5,	P15		240	A2,B1,	P12		301	A2,B5,	P9		P 2	19 - 20
119	A1,B2,	P3		180	A1,B5,	P16		241	A2,B1,	P13		302	A2,B5,	P10		P 3	21 - 22

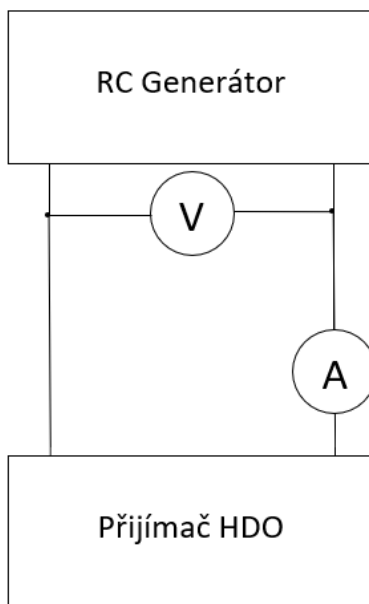
Tab. 6 Tabulka kódu pro ověřování přijímače

Vyhodnocení:

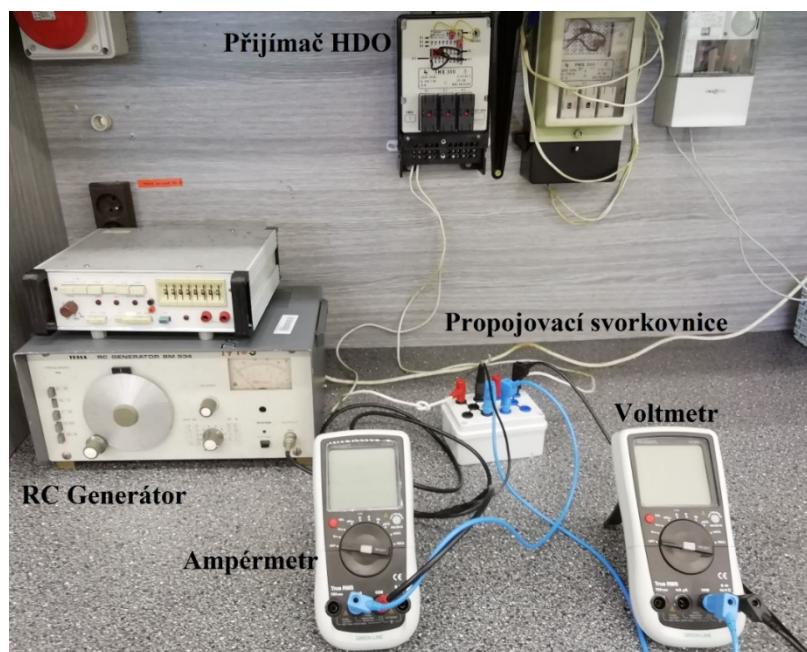
Ověřování přijímače HDO FMX 300 proběhlo úspěšně. Pomocí zkušebního vysílače MPV01 a díky tabulce s kódy Tab. 6 jsem vysílal různé kombinace kódu, abych si byl jistý, zda je zařízení provozu schopné, přičemž všechny reakce přijímače byly vždy správné. Zkoušel jsem i nastavit na vysílači jinou frekvenci než 217 Hz, ale potom přijímač správně nereagoval.

5.2 Měření s HDO č. 2, měření frekvenční charakteristiky

V této úloze jsem zjišťoval frekvenční charakteristiku přijímače HDO FMX 300, schéma je na Obr. 27 a vyfocené zapojení je na Obr. 28. Na RC Generátoru jsem postupně měnil frekvenci od 100 až po 300 Hz po 10 Hz a z multimetrů jsem odečítal proud a napětí, přičemž jsem měl na RC Generátoru nastavenou úroveň napětí kolem 2,7 V, což můžeme následně vidět v doložené Tab. 7, kde jsou i veškeré hodnoty z tohoto měření.



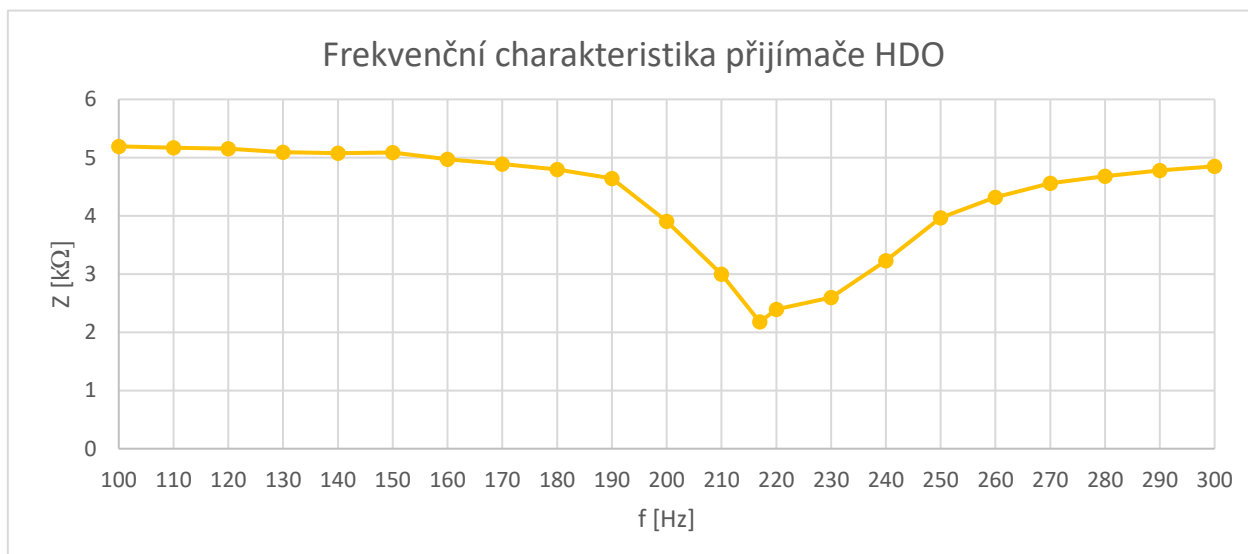
Obr. 27 Měření frekvenční charakteristiky, schéma



Obr. 28 Měření frekvenční charakteristiky, zapojení

f [Hz]	I [μ A]	U [V]	Z [k Ω]
100	518	2,690	5,193
110	521	2,693	5,169
120	528	2,720	5,152
130	529	2,695	5,095
140	533	2,705	5,075
150	533	2,711	5,086
160	542	2,696	4,974
170	550	2,690	4,891
180	568	2,723	4,794
190	593	2,752	4,641
200	686	2,678	3,904
210	914	2,741	2,999
217	1230	2,678	2,177
220	1099	2,630	2,393
230	1070	2,780	2,598
240	835	2,698	3,231
250	671	2,660	3,964
260	626	2,702	4,316
270	595	2,713	4,560
280	581	2,718	4,678
290	570	2,723	4,777
300	563	2,731	4,851

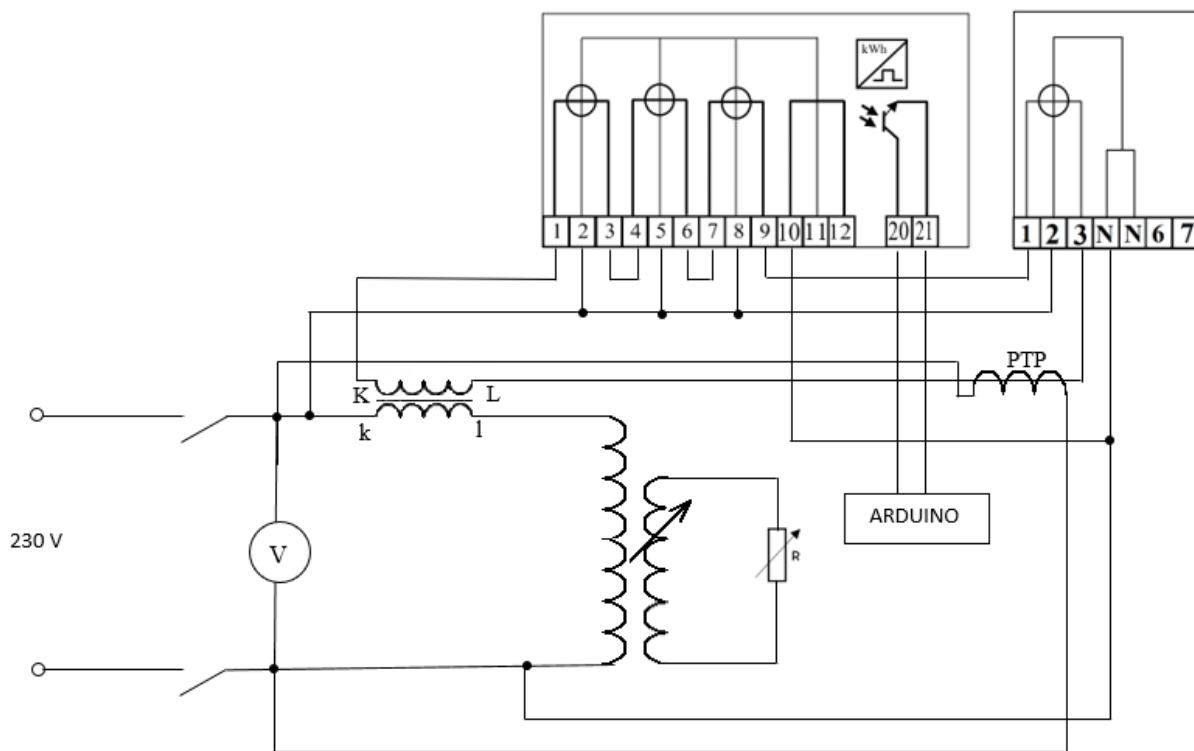
Tab. 7 Hodnoty z měření frekvenční charakteristiky



Graf 6 Frekvenční charakteristika přijímače HDO

Vyhodnocení:

U měření frekvenční charakteristiky jsem měnil v obvodu frekvenci a odečítal proud a napětí z měřících zařízení a pomocí Ohmova zákona jsem spočítal impedanci. Zjistil jsem, že při frekvenci 217 Hz teče obvodem největší proud. Frekvenční charakteristika je na Graf 6, kde jde hezky vidět, že při frekvenci 217 Hz nastala nejnižší impedance. Během měření jsem používal propojovací svorkovnici, která mi usnadnila zapojení.



Obr. 29 Měření na statickém a mechanickém elektroměru

6 Závěr

Moje bakalářská práce měla za úkol větší obeznámení s měřením elektrické energie, jakožto s elektroměry a se systémem hromadného dálkového ovládání. V kapitole měření elektrické energie jsem psal o mechanických elektroměrech, které se používaly po většinu 20. století. Už u nich ale nešlo žádným výrazným způsobem zlepšovat jejich vlastnosti a dá se říct, že byly na hranici technických možností. Díky vývoji elektroniky se začaly vyrábět statické elektroměry. Statické se jim říká proto, že už neobsahují mechanické točící části, které byly omezujícími prvky při měření. Na konci kapitoly statických elektroměrů jsou tyto dva typy porovnány a pro spoustu výhod je statický elektroměr lepší.

V další kapitole práce hovoří o hromadném dálkovém ovládání. HDO slouží k řízení distribučních soustav tím, že ovládá elektrické spotřebiče, že je zapíná ve chvíli, kdy je dostatek nebo nadbytek elektřiny v síti a naopak, když je v síti nedostatek elektřiny tak je vypíná. Dále se v ní píše o HDO systémech pro velkoodběry, kdy je odběratel při nedodržení podmínek finančně postižen nebo může být v některých případech odpojen od elektrické sítě.

V praktické části jsem se zabýval tím, jak dokáže mechanický elektroměr měřit při různém charakteru zátěže. Díky naměřeným hodnotám jsem si mohl vypočítat $\cos\varphi$, který mi pomohl při vyhodnocování, a tak sledovat, jak dokáže měřit mechanický elektroměr při odlišném $\cos\varphi$. Jelikož jsem měl nastudováno, že kotouček roztáčí hlavně činná energie, tedy pokud je $\cos\varphi=1$, tak jsem předpokládal, že se kotouček bude nejrychleji otáčet, když bude zátěž tvořena jen odpory, což se mi následně potvrdilo. Při jiných zatíženích RL, RC a L, kdy se $\cos\varphi$ rovnal například 0,08; 0,11; 0,31 nebo 0,57 a to při stejných velikostech proudu, jako tomu bylo u měření zátěže R, se už kotouček otáčel mnohem pomaleji a také docházelo k velké chybě měření, což lze vidět na grafech. Z tohoto měření tedy vyplývá, že mechanický elektroměr neměří správně elektrickou energii, pokud se $\cos\varphi$ neblíží 1.

Během zpracování této práce jsem získal nové vědomosti, které se mi budou hodit nejen při studiu, ale v některých případech i v praktickém životě. Nové informace jsem získal právě o elektroměrech a systémech HDO, kdy jsem konečně pochopil funkci přijímačů HDO a principy kódu u vysílačů, se kterými jsem se zatím moc nesebkával. V příloze bakalářské práce se nachází dvě laboratorní úlohy, které byly úspěšně odměřeny se studenty. V první laboratorní úloze se měří spotřeba elektrické energie současně na statickém a mechanickém elektroměru a následně se porovnává. Schéma této úlohy je na Obr. 29. V druhé laboratorní úloze se provádí ověření a změření frekvenční charakteristiky přijímače HDO.

Použitá literatura

- [1] *Elektroměry* [online]. [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/19472888-Elektromery-podle-principu-merici-soustavy-delime-elektromery-na-indukcni-elektromery-elektronicke-impulzni-elektromery.html>
- [2] *Elektroměry Historie a současnost* [online]. Praha: Pražská energetika, a. s, 2009 [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost/>
- [3] *ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ* [online]. Praha: STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ, OSTRAVA, 2006 [cit. 2018-11-8]. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/elektricka_mereni.pdf
- [4] *Elektrotechnická měření*. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-022-9.
- [5] *Jednofázový indukční elektroměr* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://energing.cz/photo.php?id=7>
- [6] *Jednofázové elektromechanické elektromery* [online]. Praha: CEHA KDC, 2001 [cit. 2018-11-8]. Dostupné z: <http://www.ceha-kdc.cz/eshop/cat/55/55-06-548-03010.pdf>
- [7] *ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ* [online]. Havířov: STŘEDNÍ ŠKOLA, HAVÍŘOV-ŠUMBARK, 2008 [cit. 2018-11-5]. Dostupné z: https://www.outechhavirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/me/me_vyb_kap_pe.pdf
- [8] *CARBOL, Zbyněk. Možnosti využití elektroměrů. Ostrava, 2010. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava.*
- [9] *Revoluční krok v měření elektřiny* [online]. Praha: Pražská energetika, 2001 [cit. 2018-11-8]. Dostupné z: <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/elektroenergetika/revoluce-v-mereni.pdf>
- [10] *Elektronické statické elektroměry – seznamte se* [online]. Trutnov: ZPA CZ, 2002 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/staticke-elektromery--14924>
- [11] *Co je indukční čítač. Princip elektroměru* [online]. 2017 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://mekelektro.ru/cs/electricity-meters/what-is-an-induction-counter-the-principle-of-the-electricity-meter.html>
- [12] *Elektronické statické elektroměry – seznamte se* [online]. Praha: Pražská energetika, 2016 [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/13933-elektronicke-staticke-elektromery-seznamte-se>
- [13] *Návod k obsluze čtyřkvadrantního elektroměru DB4, DC4* [online]. Brno: E.ON Servisní, 2011 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <http://www.kvemont.cz/images/pdf/navod-elektromer.pdf>
- [14] *MĚŘENÍ: Třída přesnosti* [online]. 2008 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z:

<https://elektrika.cz/data/clanky/trida-presnosti>

[15] *HDO a noční proud - jak to vlastně funguje?* [online]. 2018 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-hdo-a-nocni-proud-jak-to-vlastne-funguje>

[16] *Vysílače HDO* [online]. České Budějovice: EGC - service [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.egc-cb.cz/kompletni-realizace-energetickych-celku/vysilace-hdo.html>

[17] *ORSÁGOVÁ, Jaroslava. Hromadné dálkové ovládání: Elektrické stanice a vedení. Brno. Prezentace. VUT.*

[18] *Jak funguje elektrický elektroměr. Schéma elektroměru.* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://kgrant.ru/cs/how-does-the-electric-electricity-meter-work-scheme-of-electric-meter/>

[19] *SÝKORA, Tomáš. Hromadné dálkové ovládání. Praha, 2011. Učební prezentace. České vysoké učení technické.*

[20] *Elektroměry pro měření spotřeby i analýzu kvality elektrické energie* [online]. AUTOMA, 2011 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/45408.pdf

[21] *RUSEK, Stanislav. Provoz a řízení elektrizačních soustav.* Ostrava, 2005. Učební texty. VŠB-TU Ostrava.

[22] *KOVAL, Ludvík. ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ učební text a návody do cvičení.* Ostrava, 2012. Učební text a návody do cvičení. VŠB-TU Ostrava.

[23] *SL7000. Elektroměry* [online]. 2002 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: http://www.elektromery.com/files/prod_files/sl7000.pdf

[24] *BERAN, Petr. Parametrizace statických elektroměrů.* Plzeň, 2016. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.

Přílohy

Laboratorní úloha		
Jméno přímení	Měření 1	Datum měření
Login	Měření na statickém a mechanickém elektroměru	Rozvrhová skupina

Zadání:

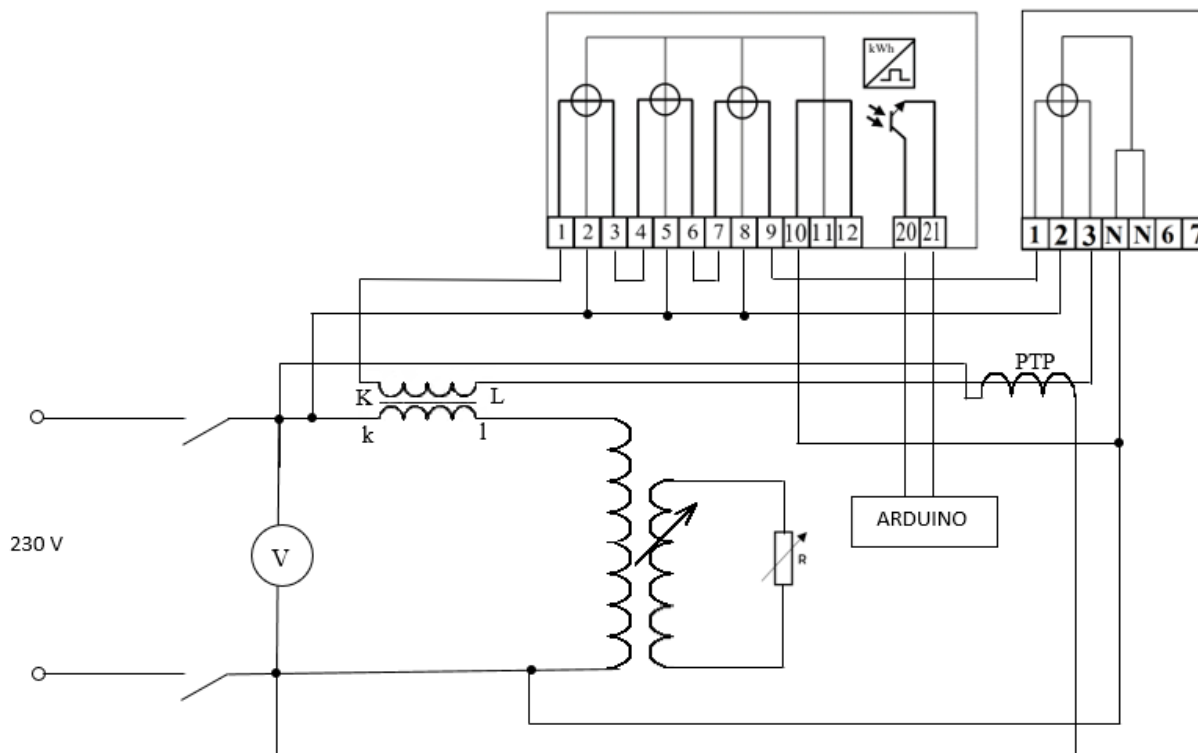
Realizujte srovnávací měření pomocí klešťového wattmetru na trojfázovém statickém a elektrodynamického elektroměru. Při proudech 6, 12 a 18 A měřte 3 minuty a porovnejte naměřené hodnoty.

Postup měření:

1. Provést zapojení dle schématu.
2. Pro nastavené proudy 6 A, 12 A a 18 A změřte po dobu 3 minut a během této doby počítejte otočení kotoučku na mechanickém elektroměru a ze zařízení Arduino, které je připojeno ke statickému elektroměru odečtěte impulsy.
3. Vyhodnoťte

Použité přístroje:

Schéma zapojení:



Naměřené hodnoty:

I (A)	U (V)	P (W)	Počet impulsů (-)	Počet otáček (-)
6				
12				
18				

Závěr:

Laboratorní úloha		
Jméno přímení	Měření 2	Datum měření
Login	Měření na HDO	Rozvrhová skupina

Zadání:

1. Zkontrolujte správnou funkci přijímače HDO pomocí zkušebního vysílače
2. Pomocí RC generátoru změřte frekvenční charakteristiku přijímače HDO
- 3.

Postup měření:

1. Zapojte obvod dle schématu

Nastavte napětí signálu na vysílači - zadní přepínač nastavte na TN a držet tlačítko „RUČ“ (> 1,3 V). Nakódujte na shodný kód (tlačítka I-I, 217) podle kódů pro jednotlivé kontakty, které jsou na štítku přijímače.

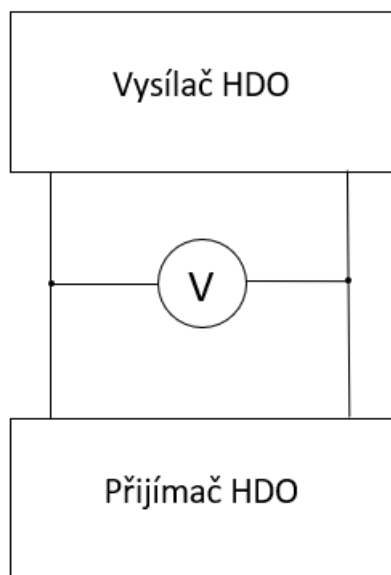
Nastavte zadní přepínač na 220, stiskněte tlačítko „START“ na vysílači a sledujte zda kontakty na přijímači sepnou.

2. Zapojte obvod dle schématu

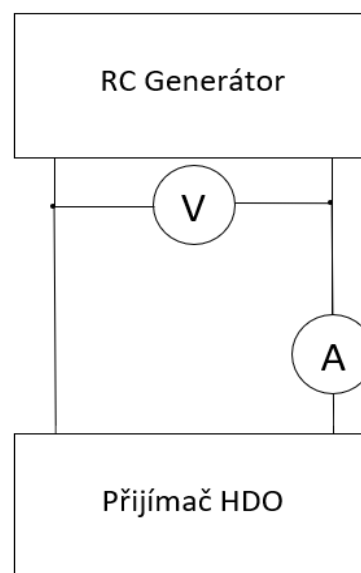
Měňte kmitočet na RC generátoru v rozmezí 100–300 Hz po 20 Hz při nastavené úrovni kolem 2,7 V. Pomocí Ohmova zákona určete impedanci pro každý kmitočet a nakreslete charakteristiku $Z = f(f)$ na milimetrový papír.

3. Vyhodnoťte

Schéma zapojení:



Úloha č. 1



Úloha č. 2

Použité přístroje:

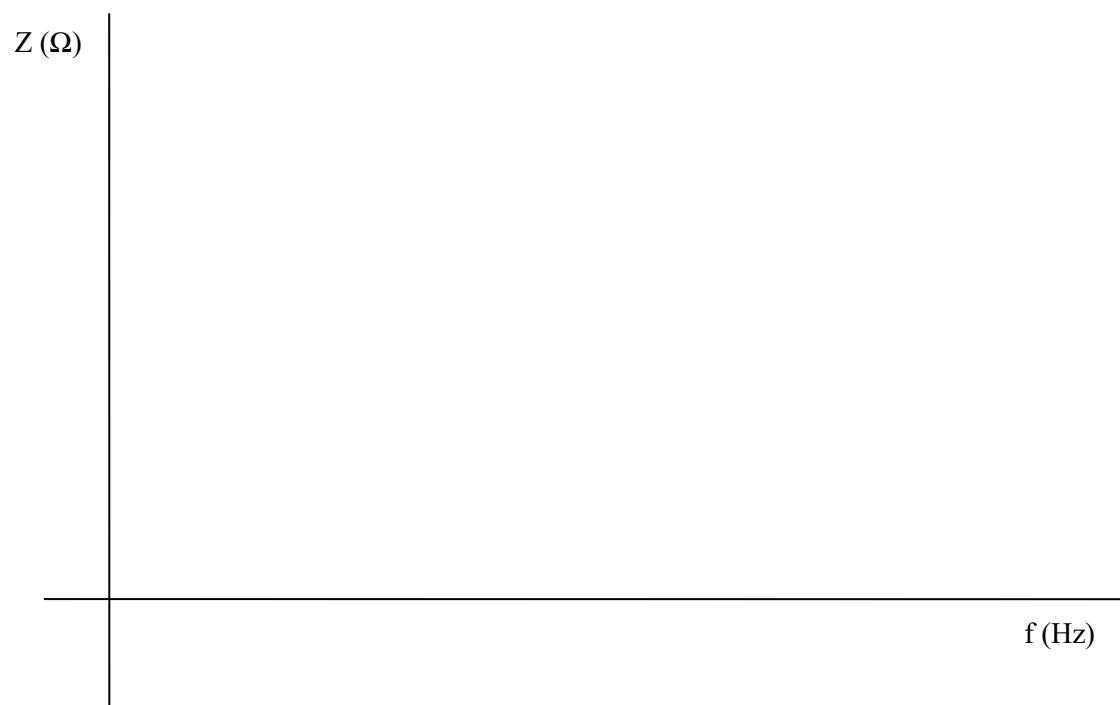
Naměřené a vypočtené hodnoty:

f [Hz]	I [A]	U [V]	Z [Ω]
100			
120			
140			
160			
180			
200			
210			
217			
220			
230			
240			
260			
280			
300			

Příklady výpočtu:

$$Z = \frac{U}{I} = \text{————} = \quad \Omega$$

Graf:



Závěr