

# WIRELESS POWER TRANSFER 20 KW

**Radek Tománek**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xtoman30@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Martiš

E-mail: martis@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This contribution deals with the design of wireless power transfer at a distance of 600 mm dimensioned to 20 kW. The transfer is provided by inductive coupling of the resonant circuit with 800 mm diameter coils. It contains a description of the design and calculations of individual parts, stating specific values. It also includes description and schematics of control circuits.

**Keywords:** wireless power transfer, resonant drive, coupled resonant circuit

## 1 ÚVOD

Vzhledem k rychlému rozvoji elektromobility se zvyšují nároky i na dobíjení akumulátorů dopravních prostředků. Vedle snižování doby nabíjení, a tedy zvyšování nabíjecího výkonu, je snahou také umožnit snadné dobíjení i během krátkých zastavení (např. před křižovatkou nebo pro elektrobusy na zastávce). V neposlední řadě se řeší i komfort pro obsluhu.

Tyto faktory vedou k vývoji nabíječek s bezdrátovým přenosem výkonu, které umožní nabíjení velkým výkonem s vysokou účinností. V této práci se zabývám návrhem a realizací bezdrátového přenosu výkonu 20 kW na vzdálenost 600 mm, který by svými parametry mohl být základem pro bezdrátovou nabíjecí stanici.

## 2 VÁZANÉ REZONANČNÍ OBVODY

Bezdrátový přenos výkonu je navržen jako vázaný sériový rezonanční obvod s induktivní vazbou. Požadovaný přenášený výkon je 20 kW na vzdálenost 600 mm. Návrh vázaných rezonančních obvodů obnáší jednak návrh optimálních rozměrů a počtu závitů cívek, jednak určení parametrů kondenzátorů.

### 2.1 INDUKTORY

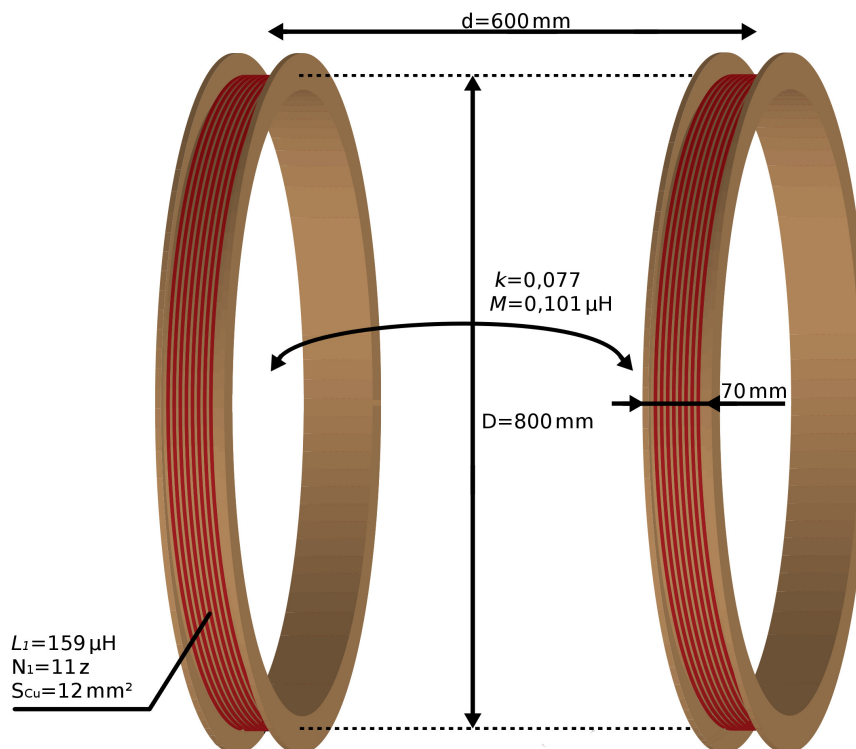
Byly navrženy jako válcové jednovrstvé vzduchové cívky o průměru  $D = 800$  mm s  $N_1 = 11$  závitů. Jejich uspořádání je na obrázku 1. Vinuty jsou měděným vysokofrekvenčním lakovaným lankem pro omezení skin efektu. Předpokládaná efektivní hodnota proudu vázaným rezonančním obvodem je 43 A, na což je dimenzován i průřez vodiče. V rezonanci bude amplituda napětí na cívce až  $U_{L1,max} = 12,6$  kV, což vyžaduje i dostatečnou izolaci mezi jednotlivými závitů. Aby nedocházelo k mezizávitovým přeskokům, je cívka vinuta jako jednovrstvá, čímž je mezizávitová amplituda napětí pouze

$$U_{L1,Nmax} = \frac{U_{L1,max}}{N_1} = 1,15 \text{ kV.} \quad (1)$$

Jednotlivé závitů jsou izolované izolačním lakem a pro zvýšení izolační pevnosti jsou mezi závitů vymezené vzduchové mezery.

## 2.2 KAPACITORY

Pro dosažení rezonančního kmitočtu 145 kHz je zapotřebí kapacitor o jmenovité kapacitě 7,5 nF dimenzovaný na efektivní hodnotu proudu 43,4 A a maximální napětí 12,6 kV. Z technologických důvodů je kapacitor realizován sériovou kombinací osmi kondenzátorů o dílčí kapacitě 60 nF, dimenzovaných na efektivní hodnotu proudu 60 A a na maximální napětí 6 kV.



Obrázek 1: Uspořádání cívek vázaného rezonančního obvodu

## 3 VÝKONOVÁ ČÁST PŘENOSU

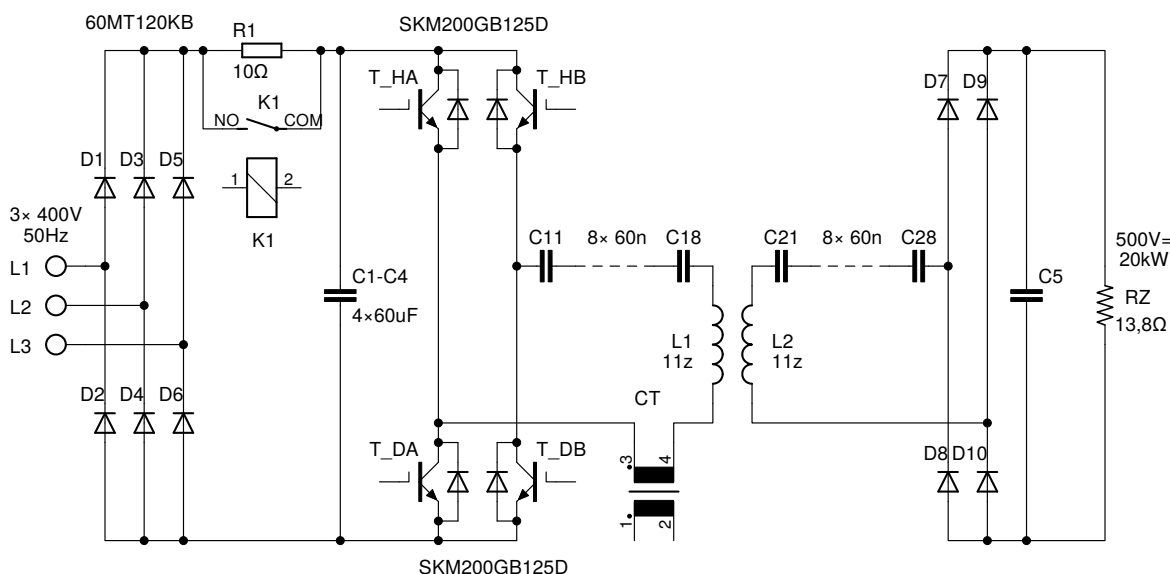
Výkonová část se skládá z usměrňovače, soft-startu, stejnosměrného meziobvodu, tranzistorového střídače, vázaného rezonančního obvodu, sekundárního usměrňovače a sekundárního filtru. Schéma zapojení výkonové části je na obrázku 2.

Bezdrátový přenos výkonu bude napájen z třífázové rozvodné sítě o jmenovitém sdruženém napětí  $3 \times 400\text{ V}$ , 50 Hz, přičemž na sekundární straně, tedy přijímací, bude při jmenovitých hodnotách napájecího napětí a definované vzdálenosti výkon alespoň 20 kW.

Trojfázová síť je usměrněna šestipulzním usměrňovačem 60MT120KB. Aby nedošlo po připojení zařízení k síti k velkému proudovému nárazu při nabíjení kondenzátorů a následnému velkému napětí ovému překmitu vlivem indukčnosti sítě, je za usměrňovačem zařazen výkonový rezistor. Ten není dimenzován na trvalé zatížení, ale pouze na nabití kapacitního filtru. Po pětinašobku časové konstanty RC filtru je rezistor přemostěn stykačem a až poté je s přibližně 200 ms zpožděním sepnut výkonový měnič.

Blokovací kondenzátory C1 až C4 slouží k zamezení vzniku nepřípustných napětí ových překmitů na tranzistorových spínačích během přepínacích dějů. Jejich kapacita byla navržena tak, aby potlačily i překmitu napětí v síti vzniklé náhlou změnou odebíraného proudu, který na parazitní indukčnosti vedení může vyvolat velké napětí ové špičky.

Samotné vyfiltrování zvlnění usměrněné sítě není zapotřebí, protože šestipulzním usměrněním třífázové sítě vznikne stejnosměrné napětí zvlněné o pouhých 13,4 % špička-špička, což plně postačuje pro napájení střídače. Přenášené napětí tedy bude modulované zvlněním napětí stejnosměrného meziobvodu, ale zajistí se tak větší, čili lepší, účinník odebíraného výkonu ze sítě.



**Obrázek 2:** Schéma zapojení výkonové části bezdrátového přenosu výkonu

Kapacitní filtr je složen ze 4 bezindukčních sviskových kondenzátorů umístěných co nejbližší k jednotlivým tranzistorovým větvím H můstku, což potlačuje překmity na stejnosměrném meziobvodu vzniklé vlivem vypnutí tranzistorů.

Ze stejnosměrného meziobvodu bude napájen tranzistorový střídač tvořený plným H můstkem ze 4 IGBT a nulových diod. Tranzistory budou přepínány v nule protékajícího proudu, čímž se minimalizují přepínací ztráty na polovodičových prvcích. To umožňuje rezonanční zátěž střídače, které přirozeně klesá proud k nule.

Samotný vázaný rezonanční obvod bude tvořen dvojicí vázaných cívek se sériovými kondenzátory jak na primární, tak i na sekundární straně. Zatímco na primární straně je rezonanční obvod napájen tranzistorovým střídačem, sekundární strana shodného rezonančního obvodu bude zatěžována můstkovým usměrňovačem, ze kterého bude odebírán stejnosměrný proud.

#### 4 ŘÍDICÍ A BUDICÍ OBVODY

Úkolem řídicích obvodů je především správně generovat impulzy pro spínání výkonových tranzistorů. Protože je střídač zatížen rezonančním obvodem, je žádoucí, aby kmitočet a fáze spínání střídače byly synchronizovány s proudem tekoucím rezonančním obvodem. Z toho plyne, že šířku pulzů přímo neurčují řídicí obvody, ale jsou tvarovány ze snímaného proudu rezonančním obvodem.

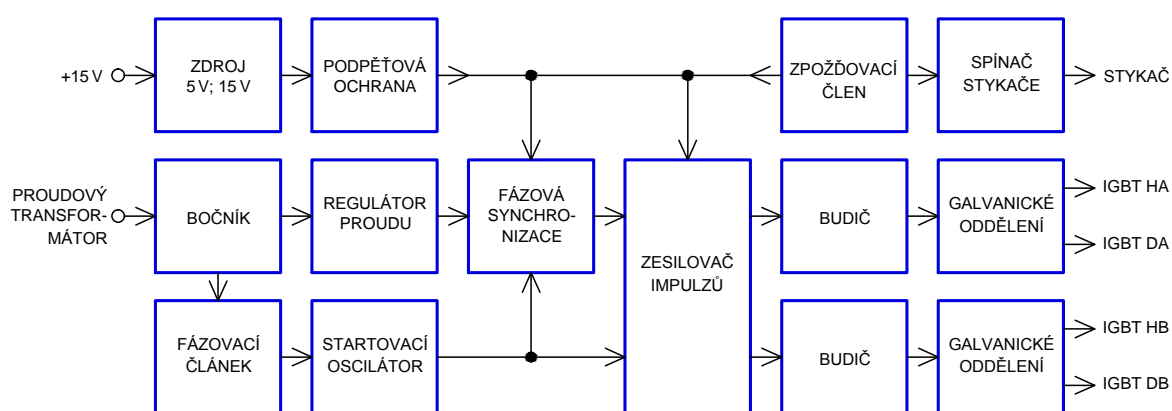
V rezonančním obvodu je pro tento účel zařazen proudový transformátor, který je zatížen bočníkem v řídicích obvodech. Pro kompenzaci zpoždění celé zpětné vazby je signál veden na fázovací článek. Po vytvarování je signál veden na zesilovač impulzů. Prvotní rozkmitání rezonančního obvodu umožní startovací oscilátor, který je po příchodu pulzů ze zpětné vazby vyřazen z činnosti.

Aby nemohlo dojít k nekontrolovanému nárůstu proudu vzniklého např. vlivem oddálení sekundární cívkou od primární, tedy snížení činitele vazby  $k$ , je zde využita regulace vynecháváním pulzů (PDM).

Při překročení nastaveného proudu nedojde k okamžitému vypnutí tranzistoru, ale dojde k přirozenému zániku proudu vlivem oscilace rezonančního obvodu a pro následující půlvlnu už není střídač sepnut. Jsou tak minimalizované přepínací ztráty v měničích a rezonančním obvodem tak prochází téměř harmonický proud s případnou klesající amplitudou.

Řídicí impulzy jsou vedeny do budičů, které impulzy výkonově zesilují a ovládají jimi řídicí elektrody IGBT. Zároveň zajišťují galvanické oddělení řídicí elektroniky od IGBT, neboť emistory jednotlivých tranzistorů jsou na odlišných potenciálech mezi sebou (vyjma dolní dvojice IGBT), tak i vůči zemi řídicích obvodů, protože jejich zem je spojena s ochranným vodičem PE.

Dále řídicí obvody zajišťují ovládání stykače pro zpožděné přemostění nabíjecího rezistoru ve stejnosměrném meziobvodu měniče, jak bylo vysvětleno v kapitole 3. Součástí je také podpět'ová ochrana napájecího napětí řídicích obvodů a zpožděné zapnutí měniče, aby nedošlo k odběru proudu před spolehlivým přemostěním nabíjecího rezistoru stykačem. Pro svou činnost zajišťují i stabilizaci napětí 5 V z přivedeného napětí 15 V z externího zdroje.



**Obrázek 3:** Blokové schéma řídicích obvodů a budičů

## 5 ZÁVĚR

Výpočty byly optimalizovány pro dosažení maximální účinnosti a byla zohledněna dostupnost nebo realizovatelnost jednotlivých prvků. Neméně důležité bylo také zajistit dostatečnou imunitu na rušení řídicích obvodů a budičů výkonovou částí, neboť výkonová část nejenom že bude přepínat napětí s velkou strmostí hran, ale primární cívka bude vytvářet též silné magnetické pole.

Přestože většina částí byla odzkoušena – výkonová pouze s menším výkonem, ostatní pak po jednotlivých funkčních blocích, tak teprve ožívování a následné testování ověří správnost výpočtů, dimenzování a celého návrhu.

## REFERENCE

- [1] MARTIŠ, J. a VOREL, P. Wireless power transfer 2.5 kW with simple control and high efficiency. In *Proceedings of the 2018 18th International Conference on Mechatronics – Mechatronika (ME)*, pages 1–6, december 2018. ISBN: 978-80-214-5543-6.
- [2] PITNER, T. *Bezdrátový přenos energie za pomoci vázaných rezonančních obvodů*. Brno: 2017. Závěrečná práce. Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše 14. 56 s. Vedoucí práce Ing. Jan Martiš
- [3] PATOČKA, M. *Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2011. 564 s.