

# Loss distribution of Resonant DC/DC Converter for 5KW Fuel Cell Application

Aleksandrs Andreiciks (Riga Technical University - RTU), Ingars Steiks (RTU) and Oskars Krievs (RTU)

**Keywords** – Fuel cell system, resonant converter.

## I. INTRODUCTION

The research of renewable energy resources, as well as the hydrogen energy has gained a growing interest in the recent years. In order to utilize the electrical energy which is produced by the fuel cells, characterized by slow dynamic response, low output voltage and large voltage variations, static power converters are researched widely throughout the world. [1]. Detailed simulation study of the most appropriate resonant converter has been carried out to be used for 5kW proton exchange membrane (PEM) fuel cell. The proposed 5kW LLC resonant converter is designed for boosting from the low input voltage (25Vdc-48Vdc) to high output voltage (400Vdc). For the purpose to increase the overall efficiency of the system it was decided to use several converters in parallel.

## II. LLC RESONANT CONVERTER

LLC converter displays many advantages over other resonant converter topologies; it can regulate the output over wide line and load variations with a relatively small variation of switching frequency, it can achieve zero voltage switching (ZVS) over the entire operating range, and all essential parasitic elements, including junction capacitances of all semiconductor devices and the leakage inductance of the transformer, are utilized to achieve soft-switching [2].

## III. DESIGN EXAMPLE

The design goal of LLC resonant converter is to achieve minimum losses with the capability to achieve required maximum gain to ensure wide range of operation. The resonant components including  $L_r$ ,  $C_r$ , and  $L_m$  are the major challenge in design considerations. A laboratory prototype with 1250W rated power was built to verify the effectiveness of the proposed converter. Since the selected series resonant frequency  $f_r$  is 60kHz, we can obtain the required series inductance.

$$L_r = \frac{Z_o}{2\pi f_r} = \frac{0.042}{2\pi \times 60000} = 0.11\mu H. \quad (11)$$

the series resonant capacitance of  $C_r$  is given as:

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r Z_o} = \frac{1}{2\pi \times 60000 \times 0.042} = 63\mu F. \quad (12)$$

and the maximum magnetizing inductance  $L_m$  can then be estimated by:

$$L_m = \frac{nV_o T_s t_{d,\min}}{8C_o V_{DC}} \leq \frac{\eta T_s t_{d,\min}}{16C_o}. \quad (13)$$

The dead time between two gate drives is defined as 200ns. A power MOSFET IXFN230N10 is employed as switch, with  $C_{oss1}=C_{oss2}=C_o=5600$ pF. The magnetizing inductance was  $L_m \leq 21\mu H$ .

## IV. SIMULATIONS

To describe the operation of the LLC resonant converter for fuel cell application, simulation results were obtained using PLECS simulation software. As it can be seen from the simulation, the converter operates as desired, providing 100 V output voltage at rated input and load condition.

## V. LOSS DISTRIBUTION

The losses in LLC resonant converter are investigated and simulation is carried out based on PLECS simulation software. Losses dissipated in the power devices are considered temperature independent during the loss simulation. The power losses consist of conduction losses and switching losses.

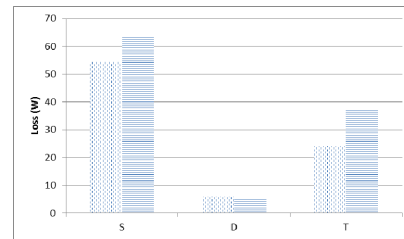


Fig. 5. Calculated and simulated loss dissipation on power MOSFETs (S), diodes rectifier (D), transformer (T)

## VI. EXPERIMENTAL TESTS

Experimental testing of one LLC converter was carried out as well. The testing was performed using two 12V 50Ah car batteries in series as the input voltage source and connecting the LLC resonant converter to a resistive load. The converter was tested at constant frequency at variation of the load.

## VII. CONCLUSIONS

In this paper, the design considerations for LLC resonant converter for fuel cell application are explored. The analyzed converter offers many advantages over other resonant converter topologies; it can control the output over wide line and load variations with a relatively small variation of switching frequency, it can achieve zero voltage switching over the entire operating range and all essential parasitic elements, including junction capacitances of all semiconductor devices and the leakage inductance of the transformer, are utilized to achieve soft-switching. condition of ZVS state for primary MOSFET switches and ZCS state for secondary diodes.

## REFERENCES

- [1] L. Robert and A. Steigerwald, "A Comparison of Half-bridge resonant converter topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [2] M. Jovanovic M. Principle of Resonant Power Conversion // house seminar. - Toulouse 2004.

# Zudumu sadalījums rezonanses 5KW DC/DC pārveidotāja degvielas elementu invertoru sistēmai

Aleksandrs Andreiciks (Riga Technical University - RTU), Ingars Steiks (RTU) and Oskars Krievs (RTU)

*Atslēgvārdi (angl.) – Fuel cell system, resonant converter..*

## I. IEVADS

Pēdējos gados aug interese par pētījumiem atjaunojamo enerģijas resursu jomā, kā arī udeņraža enerģijas jomā. Lai varētu pielietot no degvielas šūnām radīto elektroenerģiju, kurai raksturīga lēna dinamiska reakcija, zems izejas spriegums un augstas sprieguma svārstības, spēka pārveidotāji tiek plaši pētīti visā pasaulē [1]. Lai atrastu vispiemērotāko rezonanses pārveidotāju protonu apmaiņas membrānai (PAM) degvielas šūnas 5kW, tika veikti detalizēti simulācijas pētījumi. Piedāvātais 5kW LLC rezonanses pārveidotājs izveidots, lai zemo ieejas spriegumu (25Vdc-48Vdc) pārveidotu par augstu izejas spriegumu (400Vdc). Lai palielinātu kopējo sistēmas efektivitāti, tika nolemts vienlaicīgi izmantot vairākus pārveidotājus.

## II. LLC REZONANSĒS PĀRVEIDOTĀJS

LLC pārveidotājam ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar citu pārveidotāju topoloģijām; tas var regulēt izejas spriegumu un slodzes izmaiņas ar relatīvi nelielu komutācijas frekvences izmaiņu, tas var sasniegt nulles sprieguma komutāciju (ZVS) pilnu darbības diapazonu, un visi parazītiskie elementi, ieskaitot visu pusvadītāju kapacitātes un transformatora noplūdes induktivitāti, tiek izmantoti, lai sasniegtu bezzudumu komutāciju [2].

## III. IZSTRĀDES PIEMĒRS

LLC rezonanses pārveidotāja izstrādes mērķis ir iegūt minimālus zudumus, lai sasniegtu nepieciešamo maksimālu ieguvumu plaša darbības d klāsta nodrošināšanai. Kā lielāko izaicinājumu saistībā ar izstrādi var minēt rezonanses sastāvdaļas, kas iekļauj sevī  $L_r$ ,  $C_r$  un  $L_m$ . Lai izvērtētu piedāvātā pārveidotāja efektivitāti, tika izveidots laboratorijas prototips ar nominālo jaudu 1250W. Ņemot vērā, ka izvēlēta komutācijas frekvence ir 60 kHz, mēs varam iegūt nepieciešamo induktivitāti.

$$L_r = \frac{Z_o}{2\pi f_r} = \frac{0.042}{2\pi \times 60000} = 0.11\mu H. \quad (11)$$

rezonanses kapacitāte  $C_r$  izteikta kā:

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r Z_o} = \frac{1}{2\pi \times 60000 \times 0.042} = 63\mu F. \quad (12)$$

maksimālā magnetizācijas induktivitāte  $L_m$ , to var noteikt šādi:

$$L_m = \frac{nV_o T_s t_{d,\min}}{8C_o V_{DC}} \leq \frac{\eta T_s t_{d,\min}}{16C_o}. \quad (13)$$

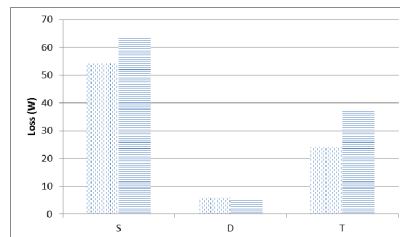
Aiztures laiks starp diviem spēka slēdžu vadības signāliem ir definēts kā 200 ns. MOSFET IXFN 230N10 tiek pielietots kā spēka slēdzis, ar  $C_{oss1} = C_{oss2} = C_o = 5600\text{pF}$ . Magnetizācijas induktivitātei ir jābūt  $L_m \leq 21\mu H$ .

## IV. MODELEŠANA

Lai aprakstītu, kā darbojas LLC rezonanses pārveidotājs, tika veikta pārveidotāja modelēšana, izmantojot PLECS simulācijas programmatūru. No modeļa var redzēt, ka pārveidotājs darbojas, kā iepļānots, nodrošinot 100V izejas spriegumu pie nominālās ieejas sprieguma un slodzes.

## V. ZUDUMU SADALĪJUMS

Zudumi LLC rezonanses pārveidotājā ir aprēķināti un modelēti, balstoties uz PLECS simulācijas programmatūru. Zudumi, kas izklīst pārveidotāja iekārtā, ir uzskaitīti kā temperatūras atkarīgi zudumu modelēšanas laikā. Jaudas zudumi sastāv no vadības zudumiem un komutācijas zudumiem.



5. zīm. Aprēķinātā un modelētā zudumu izkliede: spēka slēdži (S), taisngrieža diodes (D), transformators (T)

## VI. EKSPERIMENTĀLĀ PĀRBAUDE

LLC pārveidotājs tika eksperimentāli testēts. Testus veica, divus 12V 50Ah autoakumulatorus saslēdzot virknē un izmantojot, kā ieejas sprieguma avotu, pašu savienojot LLC, rezonanses pārveidotāju pieslēdzos pie aktīvās pretestības. Pārveidotāju testēja pie nemainīgas frekvences un mainīgas izejas slodzes.

## SECINĀJUMI

Šajā rakstā uzmanība tika veltīta degvielas šūnas LLC rezonanses pārveidotāja izstrādei. Analizētajam pārveidotājam ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar citu pārveidotāju topoloģijām: tas var uzturēt nemainīgu izejas spriegumu ar relatīvi nelielām komutācijas frekvences izmaiņām, tas var sasniegt nulles sprieguma komutāciju pilnu darbības diapazonu, un visi svarīgie parazītiskie elementi tiek izmantoti, lai sasniegtu bezzudumu komutāciju; ZVS stāvokli primārām MOSFET slēdzim un ZCS stāvokli sekundārām diodēm.

## LITERATŪRA

- [1] L. Robert and A. Steigerwald, "A Comparison of Half-bridge resonant converter topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [2] M. Jovanovic M. Principle of Resonant Power Conversion // house seminar. - Toulouse 2004.

# Распределение потерь интерфейсного преобразователя 5кВт-ного топливного элемента

Aleksandrs Andreiciks (Riga Technical University - RTU), Ingars Steiks (RTU) and Oskars Krievs (RTU)

Ключевые слова (англ.) – Fuel cell system, resonant converter.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Принятое решение инверторной системы для водородного топливного элемента состоит из DC-DC преобразователя и DC-AC инвертора. Данная публикация посвящается разработке повышающего преобразователя постоянного напряжения для однофазной системы инвертора 5000W топливного элемента с протон-обменной мембраной. Зачастую, имея в виду необходимое повышение постоянного напряжения, а также для уменьшения пульсаций входного тока, лучшим решением таких систем, как указано в литературе, является источник тока полного моста или двухтактный повышающий преобразователь с высокочастотными трансформаторами.

## II. РЕЗОНАНСНЫЙ LLC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Резонансный LLC преобразователь имеет много преимуществ по сравнению с другими топологиями преобразователей. Он может поддерживать выходное напряжение в широком диапазоне изменения входного напряжения и тока нагрузки и при относительно небольшом изменении коммутационной частоты. Кроме того, в них переключение транзисторов происходит при нулевом напряжении во всем диапазоне работы, а паразитные элементы (емкости соединения ключей, индуктивность рассеяния) используются для достижения мягкого переключения [2].

## III. ПРИМЕР КОНСТРУКЦИИ

Цель разработки резонансного преобразователя состоит в том, чтобы достигнуть минимальных потерь, со способностью достигнуть требуемого выходного напряжения, чтобы гарантировать широкий диапазон работы. Резонансные компоненты включая  $L_r$ ,  $C_r$  и  $L_m$  - основная проблема в конструктивных соображениях. Лабораторный образец с мощностью на 1250 Вт был изготовлен, чтобы проверить эффективность преобразователя. Так как принятая частота коммутации 60 кГц, мы можем рассчитать необходимую индуктивность.

$$L_r = \frac{Z_o}{2\pi f_r} = \frac{0.042}{2\pi \times 60000} = 0.11 \mu H. \quad (11)$$

резонансная емкость  $C_r$  рассчитывается как:

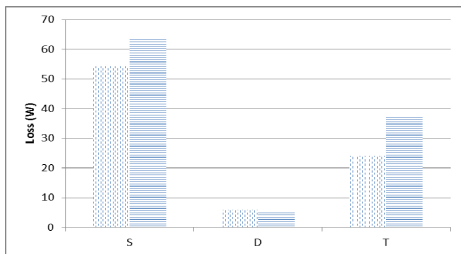


Рис. 5. Расчетные и моделированные потери мощности; на транзисторы (S), диоды выпрямителя (D), трансформатор (T)

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r Z_o} = \frac{1}{2\pi \times 60000 \times 0.042} = 63 \mu F. \quad (12)$$

и максимальная индуктивность намагничивания  $L_m$  тогда может быть:

$$L_m = \frac{nV_o T_s t_{d,\min}}{8C_o V_{DC}} \leq \frac{\eta T_s t_{d,\min}}{16C_o}. \quad (13)$$

## IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для описания работы резонансного преобразователя с применением топливного элемента, результаты моделирования были получены с использованием программного обеспечения PLECS. Как видно из графика моделирования, преобразователь работает в соответствии с поставленной задачей, обеспечивая 100 В выходное напряжение при номинальном входе и нагрузке.

## V. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ

Исследованы потери в резонансном конвертере. Моделирование потерь преобразователя выполнено на основании программного обеспечения PLECS. Потери, рассеянные в силовых устройствах, считают зависимыми от температуры устройств во время моделирования.

## VI. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕСТ

Было выполнено экспериментальное тестирование одного преобразователя. Тестирование проводилось с использованием двух 12V 50Ah автомобильных аккумуляторов, соединённых последовательно как источник входного напряжения. Преобразователь был протестирован на постоянной частоте при изменении нагрузки.

## VII. ВЫВОДЫ

В этой статье исследуются конструктивные особенности резонансного конвертера для его применения совместно с топливным элементом. Показано, что такой преобразователь имеет много преимуществ по сравнению с другими топологиями преобразователей. Он может поддерживать выходное напряжение при относительно небольшом изменении коммутационной частоты и обеспечивает переключение ключей при нулевом напряжении во всем диапазоне работы. При этом паразитные элементы преобразователя способствуют достижению мягкого переключения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] L. Robert and A. Steigerwald, "A Comparison of Half-bridge resonant converter topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [2] M. Jovanovic M. Principle of Resonant Power Conversion // house seminar. - Toulouse 2004.