

Buck-Boost DC-DC Converter for Wind and Hydrogen Based Autonomous Energy Supply System

Pavels Suskis (Riga Technical University - RTU) and Ivars Rankis (RTU)

Keywords – Converter circuit, DC power supply, Industrial application, Modeling, Power supply, Semiconductor device, Wind energy.

I. INTRODUCTION

This paper is related to one of proposed circuit types to gain buck-boost conversion for voltage regulation of wind generator. Output voltage of generator is varying from 0 to 650 V on the other hand it should feed 540 V dc-bus of system. The voltage is supplemented by hydrogen electrolyze tank and fuel cell as output energy storage and stabilization device. Mentioned system is a renewable autonomous power source for industrial and household.

III. STEP-UP/STEP-DOWN CONVERTER OPERATING PRINCIPLE

In order to reduce element number, eliminate voltage polarity of the input and the output voltages and simplify voltage step-up/step-down converter circuit the converter topology shown in figure Fig. 5 is proposed. The proposed circuit topology is based on Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter [1] circuit topology, but has several advantages over classic boost and buck boost converters [2] and [3].

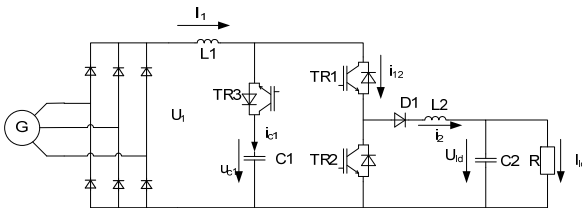


Fig. 5. Circuit diagram of proposed converter equipped by generator.

The circuit of the converter is combination of buck and boost converter. When the circuit is operating in the step-down mode transistor TR1 is controlled by the PWM signal and the transistor TR2 is off. In this case transistor TR3 is constantly in saturated switching state and commutated LC-filter is operating only as a standard LC-filter. The output voltage in this case is just a part of input voltage chopped by transistor TR2. When the converter is operating in step-up mode the transistor TR1 is in the conduction mode continuously and the transistor TR2 is controlled by PWM signal. The control signal of TR3 is opposite to the TR2 control signal. When both transistors TR1 and TR2 are in conduction mode the short-through operation takes place and input inductor L1 gets energized through semiconductor switches and then when voltage is boosted it gets transferred to the load joint. The proposed scheme is able to operate in the boost regime in discontinuous current mode only.

The equations of the load current and voltage for the voltage step-down regime are:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_1 - U_{ld})D_1}{2L_2f} \quad (5)$$

and

$$U_{ld} = \frac{U_{in}D_1^2R}{4fL_2} \left(\sqrt{1 + \frac{8fL_2}{D_1^2R}} - 1 \right) \quad (8)$$

The boundary duty ratio of the step-down regime of the converter is calculated by formula:

$$D_{1b} = 1 - \frac{2fL_2}{R} \quad (14)$$

The equations of the load current and voltage for the voltage step-up regime are:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_b - U_{ld})D_1}{2L_2f} \quad (6)$$

and

$$U_{ld} = U_1 \frac{\sqrt{R^2(1-D_2)^2 + 8L_2fR} - R(1-D_2)}{4L_2f} \quad (8)$$

The critical duty ratio for voltage boost operation is:

$$D_{2b} = \frac{2fL_2}{R} \quad (9)$$

The proposed converter is not able step-up voltage if the duty cycle is below the value calculated by equation (2).

The calculations of the paper are verified by simulation and smaller power range real model of the converter.

V. CONCLUSIONS

Proposed scheme of DC-DC voltage converter is very close to combination of classical Buck and Boost converter but allows obtain same polarity voltage as for source. Voltage Boost regime is possible only at discontinuous current mode of load junction inductance current and its value, converter operation frequency and load resistance have strong effect on voltage conversion ratio. The load resistance of converter should be adjusted corresponding to minimum input voltage and maximum boundary duty ratio. The paper contains output characteristics of converter obtained by analytic calculations. This way of calculations sets primary significance of the choice of the load joint inductance, while input inductance is less important. The paper contains comprehensive materials on expecting output characteristics of the system.

REFERENCES

- [1] J.Zakis, I. Rankis, D. Vinnikov, "Analysis of Operating Modes of Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter" *Технічна Електродинаміка* vol. 1, 2011, pp.87-92
- [2] Snaffer R. *Fundamentals of Power Electronics with MATLAB—Course Technology*, 2006 – 1st edition – 401p.
- [3] Ericson R. W., Maksimovic D. *Fundamentals of Power Electronics*. Second Edition. – Kluwer Academic Publishers, 2000 – 906 p.

Sprieguma pazeminoši-paaugstinošais pārveidotājs vēja enerģijas autonomam barošanas avotam

Pavels Suskis (Riga Technical University - RTU) and Ivars Rankis (RTU)

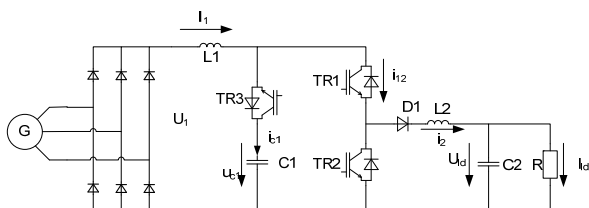
Atslēgvārdi (angl.) – Converter circuit, DC power supply, Industrial application, Modeling, Power supply, Semiconductor device, Wind energy.

I. IEVADS

Šis raksts ir veltīts pārveidotāja tipam, kurš tika izvēlēts, sprieguma regulācijai vēja enerģijas ģeneratorā. Ģeneratora spriegums mainās no 0 līdz 650 V, bet pārveidotāja izejas spriegumam jābūt 540 V, lai barotu līdzstrāvas sistēmu. Sprieguma līmenis ir noteikts ar elektrolīzes vannu un degvielas šūnu, kuri stabilizē enerģijas plūsmu. Šī sistēma ir domāta, kā atjaunojams enerģijas avots industriālajam un mājsaimniecības vajadzībām.

III. PĀRVEIDOTĀJA DARBĪBAS PRINCĪPI

Pārveidotājam tika izvēlēta shēma, kura ir spējīga samazināt un paaugstināt ieejas spriegumu bez izejas sprieguma polaritātes izmaiņas attiecībā pret ieejas spriegumu un pie neliela elementu skaita. Shēma ir parādīta 5. att. Aprakstītā pārveidotāju topoloģija ir pamatota ar Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter [1] shēmu, kā arī tai piemīt dažas priekšrocības, salīdzinot ar klasiskajiem paaugstinošajiem un pazeminošajiem pārveidotājiem [2], [3].



5. att. Piedāvātā pārveidotāja shēma.

Piedāvātā shēma ir klasiskā paaugstinošā un pazeminošā pārveidotāju kombinācija. Pārveidotājs darbojas pazeminošā režīmā, kad tranzistors TR1 tiek vadīts ar IPM signālu un tranzistors TR2 ir nevadāmības stāvoklī. Šajā gadījumā tranzistors TR3 ir konstanti ieslēgts un komutējams, LC-filters tikai nogludina pārveidotāja ieejas strāvu un spriegumu. Izejas spriegums šajā gadījumā ir vienāds ar to sprieguma daļu, kas tiek nodota slodzes mezglam caur tranzistoru TR2. Kad pārveidotājs darbojas sprieguma paaugstināšanas režīmā, tad tranzistors TR1 nepārtraukti ir vadāmības stāvoklī un tranzistors TR2 tiek darbināts ar IPM signālu, tranzistora TR3 vadības signāls ir inverss tam. Kad abi tranzistori TR1 un TR2 tiek ieslēgti, induktors L1 tiek pieslēgts pie pilna ieejas sprieguma un tajā tiek uzkrāta enerģija, kura pēc tam tiek nodota slodzes mezglam brīdī, kad tranzistors TR2 ir izslēgts.

Slodzes strāvas un sprieguma formulas sprieguma samazināšanas režīmam ir:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_1 - U_{ld})D_1}{2L_2f} \quad (5)$$

un

Robežrežīms starp pārtraukto un nepārtraukto strāvas režīmu iestājas pie aizpildes koeficienta:

$$D_{1b} = 1 - \frac{2fL_2}{R} \quad (14)$$

Slodzes strāvas un sprieguma formulas paaugstināšanas režīmam ir:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_b - U_{ld})D_1}{2L_2f} \quad (6)$$

un

$$U_{ld} = U_1 \sqrt{\frac{R^2(1-D_2)^2 + 8L_2fR - R(1-D_2)}{4L_2f}} \quad (8)$$

Kritiskā aizpildījuma koeficienta vērtība sprieguma paaugstināšanas režīmam ir:

$$D_{2b} = \frac{2fL_2}{R} \quad (9)$$

Piedāvātā shēma ir spējīga strādāt sprieguma paaugstināšanas režīmā tikai strāvas pārtrauktajā režīmā, ja aizpildījuma koeficients ir augstāks par to, ko iespējams sarēķināt ar formulu (9).

Matemātiskais apraksts tika pārbaudīts ar datorsimulācijām un samazinātas jaudas reālo modeli.

V. SECINĀJUMI

Piedāvātā shēma ir ļoti tuva pazeminošā un paaugstinošā pārveidotāja kombinācijai, bet tai piemīt dažas atšķirības. Sprieguma paaugstināšana ir iespējama tikai slodzes mezgla strāvas pārtrauktajā režīmā, kurš ir atkarīgs no slodzes pretestības, pārveidotāja darba frekvences un izejas sprieguma induktivitātes. Slodzes pretestībai jābūt regulētai atbilstoši izejas spriegumam, lai pie mazām ģeneratora jaudām netiktu patērēta pārāk liela strāva un izvairītos no slodzes mezgla strāvas pārtrauktā režīma. No rakstā piedāvātām aprēķina formulām izriet, ka slodzes mezgla induktora izvēlei ir ļoti liela nozīme, tajā pašā laikā ieejas induktivitātei ir mazāka nozīme. Raksts satur izsmeļošu materiālu shēmas elementu un izejas vērtību aprēķinam.

LITERATŪRA

- [1] J.Zakis, I. Rankis, D. Vinnikov, "Analysis of Operating Modes of Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter" *Технічна Електродинаміка* vol. 1, 2011, pp.87-92
- [2] Snaffér R. *Fundamentals of Power Electronics with MATLAB—Course Technology*, 2006 – 1st edition – 401p.
- [3] Ericson R. W., Maksimovic D. *Fundamentals of Power Electronics. Second Edition.* – Kluwer Academic Publishers, 2000 – 906 p.

Понижающе - повышающий преобразователь напряжения для ветрового генератора

Pavels Suskis (Riga Technical University - RTU) and Ivars Rankis (RTU)

Ключевые слова (англ.) – Converter circuit, DC power supply, Industrial application, Modeling, Power supply, Semiconductor device, Wind energy.

I. ВВЕДЕНИЕ

В данной статье описывается тип преобразователей, выбранный для регуляции выходного напряжения ветрового генератора. Генератор оборудован встроенным диодным мостом и постоянное напряжение генератора изменяется от 0 до 650 В, при номинальном выходном 540 В постоянного тока. Уровень выходного напряжения определён электролитической ванной и системой топливных элементов. Данная система является автономным источником возобновляемой энергии для промышленных и хозяйственных потребителей.

III. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Для преобразователя выбрана схема, которая способна поднимать и снижать напряжение без смены полярности входного напряжения по отношению к выходному при малом количестве элементов. Схема показана на Рис.5. Данная топология является упрощением схемы Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter [1], но также имеет преимущества по сравнению с классическими повышающим и понижающим преобразователями [2], [3].

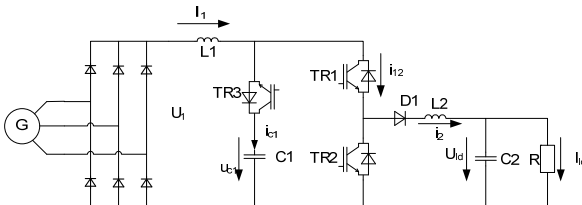


Рис. 5. Схема представленного преобразователя с генератором.

Данная схема является комбинацией классических повышающего и понижающего преобразователей. Когда преобразователь работает в режиме понижения, транзистор TR2 постоянно отключён, а управляемый сигналом ШИМ, транзистор TR1 передаёт часть входного напряжения узлу нагрузки. Транзистор TR3 – в насыщенном режиме. При повышающем режиме транзистор TR1 включён постоянно, а транзистор TR2 управляется с помощью ШИМ. Транзистор TR3 управляется инверсным сигналом управления транзистора TR2. В момент, когда оба транзистора в состоянии проводимости через них, дроссель L1 напрямую подключается к источнику питания и в нём накапливается энергия, которая затем передаётся узлу нагрузки в момент, когда TR2 отключён.

Ток и напряжение в режиме понижения вычисляется по формулам:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_1 - U_{ld})D_1}{2L_2f}. \quad (5)$$

и

$$U_{ld} = \frac{U_{in}D_1^2R}{4fL_2} \left(\sqrt{1 + \frac{8fL_2}{D_1^2R}} - 1 \right). \quad (8)$$

Граничный режим тока при коэффициенте заполнения:

$$D_{1b} = 1 - \frac{2fL_2}{R}. \quad (14)$$

Ток и напряжение в режиме повышения вычисляются по формулам:

$$I_{ld} = \frac{I_{2\max}}{2} = \frac{(U_b - U_{ld})D_1}{2L_2f}. \quad (6)$$

и

$$U_{ld} = U_1 \frac{\sqrt{R^2(1-D_2)^2 + 8L_2fR} - R(1-D_2)}{4L_2f}. \quad (8)$$

Критическое значение коэффициента заполнения в режиме повышения напряжения:

$$D_{2b} = \frac{2fL_2}{R}. \quad (9)$$

Данная схема способна работать в режиме повышения напряжения, если коэффициент заполнения превышает значение, вычисляемое по формуле (9).

Математические расчёты проверены с помощью симуляций и реальной модели с мощностью, меньше номинальной.

V. ВЫВОДЫ

Несмотря на схожесть с классическими преобразователями, у схемы есть свои особенности работы, например, повышение напряжения возможно только в режиме прерывистого тока. Повышение напряжения сильно зависит от индуктивности узла нагрузки, частоты коммутации, сопротивления нагрузки потому их выбору необходимо уделять большое внимание при проектировании системы. Статья содержит материалы, достаточные для расчёта и выбора ключевых элементов преобразователя подобного типа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J.Zakis, I. Rankis, D. Vinnikov, "Analysis of Operating Modes of Step-Up DC/DC Converter with a Commutating LC-Filter" *Технічна Електродинаміка* vol. 1, 2011, pp.87-92
- [2] Snaffer R. *Fundamentals of Power Electronics with MATLAB—Course Technology*, 2006 – 1st edition – 401p.
- [3] Ericson R. W., Maksimovic D. *Fundamentals of Power Electronics. Second Edition.* – Kluwer Academic Publishers, 2000 – 906 p.