

УДК 621.362.2

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ГРАНИЧНОМ РЕЖИМЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Русаловский В.Б., Кочетков А.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.*

kaferda.tec@onat.edu.ua

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ВХІДНОЇ НАПРУГИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ПРИ ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Русаловський В.Б., Кочетков О.В.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1*

kaferda.tec@onat.edu.ua

EFFECT OF THE INPUT VOLTAGE VALUE ON THE ELECTRICAL ENERGY QUALITY INDICATORS OF DC CONVERTER MODULAR STRUCTURE FOR THE BOUNDARY MODE OF FUNCTIONING

Rusalovskyy V.B., Kochetkov A.V.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine*

kaferda.tec@onat.edu.ua

Аннотация. Выполнен анализ полученных результатов исследования влияния величины входного напряжения на показатели качества электрической энергии импульсных преобразователей постоянного напряжения понижающего типа с автотрансформаторным включением дросселя при граничном режиме функционирования с однофазным и многофазным принципами преобразования электрической энергии при различных значениях коэффициентов трансформации и числа силовых каналов.

Ключевые слова: импульсный преобразователь постоянного напряжения, многофазный принцип преобразования электрической энергии, преобразователи модульной структуры, силовой канал, граничный режим функционирования, электрические процессы импульсных преобразователей постоянного напряжения.

Анотація. Виконано аналіз отриманих результатів дослідження впливу величини зміни вхідної напруги на показники якості електричної енергії імпульсних перетворювачів постійної напруги знижувального типу з автотрансформаторним включенням дроселя при граничному режимі функціонування з однофазним і багатофазним принципами перетворення електричної енергії за різних значень коефіцієнтів трансформації і числа силових каналів.

Ключові слова: імпульсний перетворювач постійної напруги, багатофазний принцип перетворення електричної енергії, перетворювачі модульної структури, силовий канал, граничний режим функціонування, електричні процеси імпульсних перетворювачів постійної напруги.

Abstract. The analysis of the results of research of influence of the input voltage to the indicators of quality of electric power switching converters DC step-down type autoinductive inclusion inductor with the boundary mode of functioning with single-phase and multiphase principles of converting electrical energy at various values of transformation ratios and the number of power channels.

Key words: Pulsed direct voltage converters, the principle of a multi-phase electrical power conversion, the modular structure of converters, power channel, the boundary mode operation, electrical processes pulsed DC power converters.

Одним из важнейших условий эффективной работы радиотехнических и телекоммуникационных систем является оптимальный выбор устройств электропитания, удовлетворяющих требованиям необходимых качества и надежности.

Импульсные преобразователи постоянного напряжения (ППН) обладают высокими показателями качества и надежности, находят широкое применение на практике в современных устройствах и системах электропитания радиотехнических и телекоммуникационных систем. Поэтому исследование импульсных преобразователей, с целью улучшения их качественных показателей и удельных характеристик, является актуальной задачей [1].

В работах [1, 2] показано, что использование автотрансформаторного включения дросселя в силовой части – силовых каналах (СК) – позволяет повысить эффективность работы преобразователей постоянного напряжения модульной структуры [2]. Дополнительно улучшить энергетические характеристики (уменьшить потери мощности при переключении силовых ключей) без внесения изменений в схемы СК позволяет формирование схемой управления (СУ) граничного режима работы ППН. В граничном режиме переключение силовых управляемых ключей происходит при токах дросселей СК $i_{Lk}(t)$ равных нулю, это позволяет повысить КПД, улучшить динамические характеристики [1].

Так же в работах [1, 2, 3, 4] показано, что актуальной задачей является и улучшение показателей качества электрической энергии ППН. В работах [1, 2, 4] рассмотрены основные показатели качества электрических процессов импульсных преобразователей постоянного напряжения понижающего типа с однофазным и многофазным принципами преобразования с автотрансформаторным включением дросселей в силовых каналах при граничном режиме функционирования. Приведены зависимости показателей качества электрической энергии от величины коэффициентов накопления, коэффициента трансформации, во входных и выходных цепях преобразователей модульной структуры.

В литературе [1, 2, 3, 4] при исследованиях ППН рассматривались зависимости показателей качества от величины коэффициента накопления при различных: режимах работы; числах силовых каналов; коэффициентах трансформации. Это дало возможность выбрать оптимальные условия для функционирования ППН, которые обеспечат требуемые показатели качества. Однако реализация такого подхода не позволяет в полной мере учитывать влияние величины изменения входного напряжения, например, при разряде аккумуляторной батареи, на показатели качества ППН, что является особенно важным при проектировании преобразователей, функционирующих в режиме стабилизации.

Реализация такого подхода позволит оценить степень влияния величины изменения входного напряжения на показатели качества электрических процессов в ППН.

На практике для оценки качества электрических процессов используются величины пульсаций токов, как в абсолютном виде ΔI - размах пульсации, так и в относительном виде с помощью коэффициентов пульсаций по току K_{Π} [2].

Для оценки величины пульсаций токов – переменных составляющих на входе и выходе ППН, воспользуемся коэффициентами пульсаций токов:

$$\begin{aligned} K_{\text{поп}} &= \Delta I_{\text{оп}} / 2I_{\Pi}; & K_{\text{пон}} &= \Delta I_{\text{он}} / 2I_{\Pi}; \\ K_{\text{пмп}} &= \Delta I_{\text{мп}} / 2I_{\Pi}; & K_{\text{пмн}} &= \Delta I_{\text{мн}} / 2I_{\Pi}. \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta I_{\text{оп}}$, $\Delta I_{\text{мп}}$ и $\Delta I_{\text{он}}$, $\Delta I_{\text{мн}}$ – размахи пульсаций токов, и их средние значения $I_{\text{оп}}$, $I_{\text{мп}}$ и $I_{\text{он}}$, $I_{\text{мн}}$ соответственно на входе и выходе ППН в однофазном (ОИП) и многофазном (МИП) импульсных преобразователях.

Коэффициенты пульсаций токов на входе $K_{\text{поп}}$ и $K_{\text{пмп}}$ и выходе $K_{\text{пон}}$ и $K_{\text{пмн}}$ – соответственно для ОИП и МИП рассматриваемых типов.

При граничном режиме работы средние значения токов потребления I_{Π} и нагрузки $I_{\text{н}}$ преобразователя постоянного напряжения с однофазным и многофазным принципами преобразования определяются:

$$I_{\Pi} = NI_{\text{нк}} = NI_{\text{млк}} K_{\text{н}} / 2; \quad (2)$$

$$I_{\pi} = NI_{\text{нк}} = NI_{m1k} (k_{\text{в}} + k_{\text{н}} n_{21}) / 2n_{21},$$

где, $I_{\text{пк}}, I_{\text{нк}}$ – токи потребления и нагрузки k -х СК; N – число СК и n_{21} – коэффициент трансформации дросселя; I_{m1k} – размах пульсаций тока дросселя k -го СК на интервале накопления; I_{m2k} – размах пульсаций тока дросселя k -го СК на интервале возврата. Через число витков первичной W_{1k} и вторичной W_{2k} обмоток дросселя и коэффициент трансформации n_{21k} величина тока I_{m1k} связана с величиной тока I_{m2k} :

$$n_{21k} = W_{2k} / W_{1k}; I_{m1k} = n_{21k} I_{m2k}. \quad (3)$$

Для анализа характера изменения величины в выбранном диапазоне, а также более четкого представления о поведении (характере изменения) входного напряжения (U_{π}) удобнее рассматривать зависимости в относительном виде: $\bar{U}_{\pi} = U_{\pi} / U_{\text{н}}$.

При этом, в режиме стабилизации, схема управления преобразователя компенсирует любое изменение входного напряжения, пропорционально изменяя значение коэффициента накопления. Но так, как изменение значения коэффициента накопления оказывает существенное влияние на показатели качества ППН [1, 2], то в связи с этим весьма целесообразным здесь является оценка степени влияния непосредственно величины изменения входного напряжения на показатели качества ППН. Очевидно, что степень этого влияния также существенно зависит от числа силовых каналов, режима работы преобразователя, величины коэффициента трансформации.

При использовании математической модели [1], алгоритмов исследования [6] и программного обеспечения для проведения исследований [7], получены зависимости показателей качества электрических процессов ППН от относительного напряжения питания.

Для анализа указанных зависимостей рассмотрим (рис. 1, 2) и оценим влияние изменения значения величины относительного входного напряжения \bar{U}_{π} на коэффициент пульсаций токов потребления и нагрузки ОИП и МИП при различных коэффициентах трансформации n_{21} и числе N СК. Зависимости строились при следующих исходных данных: напряжение нагрузки $U_{\text{н}} = 10\text{В}$; ток нагрузки $I_{\text{н}} = \text{const} = 10\text{А}$; индуктивность первичной обмотки дросселя $L1 = 10 \text{ мкГн}$.

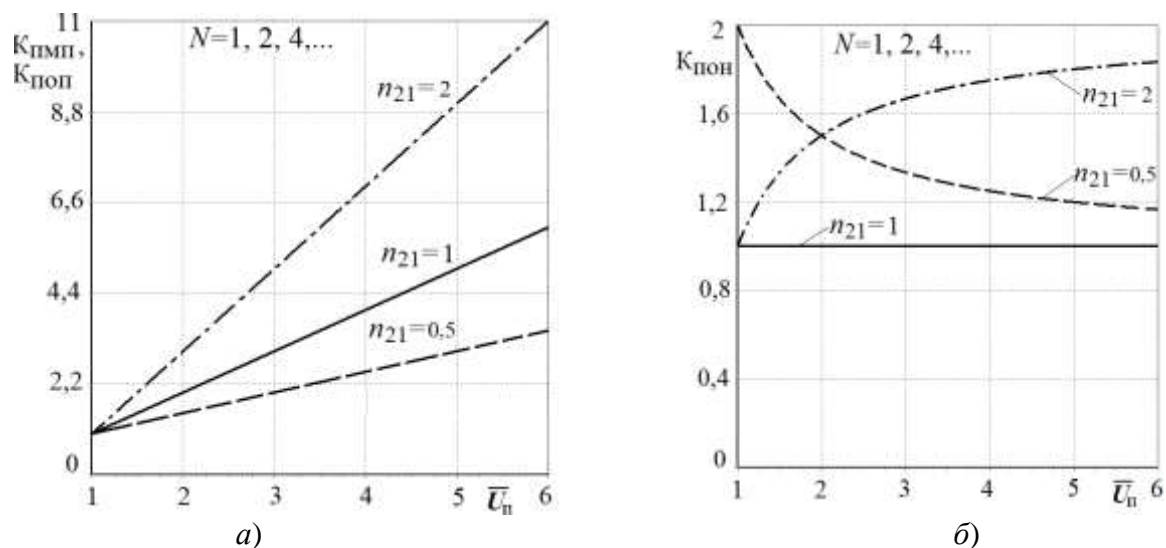


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов пульсации на входе $K_{\text{ПОП}}$ при ОИП, $K_{\text{ПМП}}$ при МИП (а) и выходе $K_{\text{ПОП}}$ при ОИП от величины относительного напряжения питания; \bar{U}_{π} при различных коэффициентах трансформации n_{21} и числе N силовых каналов

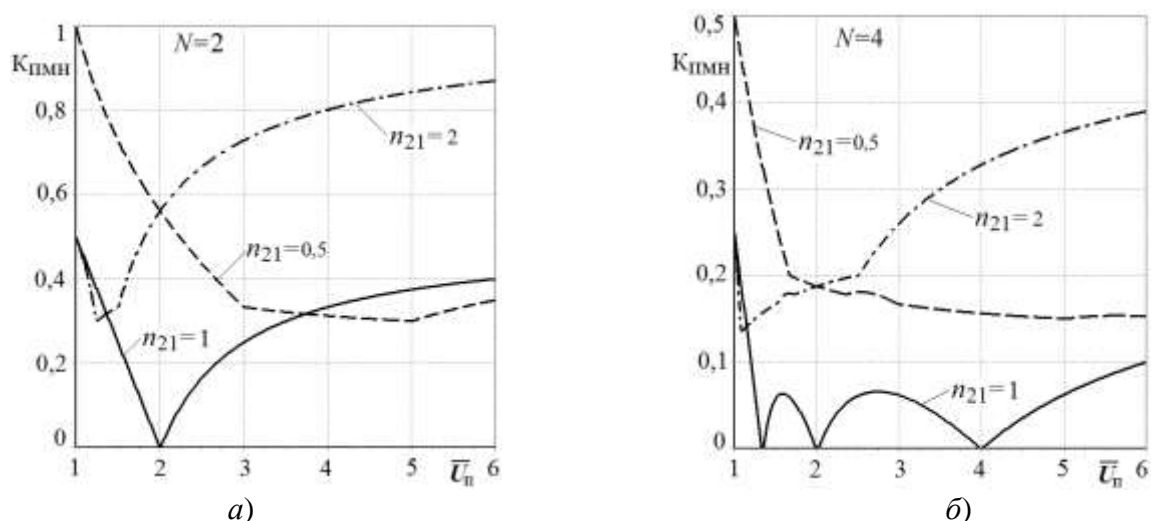


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов пульсации на выходе МИП $K_{\text{пмн}}$ от величины относительного напряжения питания $\bar{U}_{\text{п}}$ при различных коэффициентах трансформации n_{21} и числе силовых каналов $N=2$ (а) и $N=4$, (б)

Из графиков, приведенных на рис. 1 видно, что при любом числе СК и величине коэффициента трансформации n_{21} , характер изменения значений коэффициентов пульсаций на входе МИП – $K_{\text{пмн}}$ и ОИП – $K_{\text{поп}}$, (рис. 1, а) будет одинаковым. Значения коэффициентов пульсаций токов потребления возрастает по мере увеличения относительного напряжения.

Для ОИП коэффициент пульсаций токов нагрузки будет минимальным (равным единице) при коэффициенте трансформации $n_{21} = 1$ (рис. 1, б).

Из графиков, приведенных на рис. 2 видно, что для МИП независимо от значений коэффициента трансформации дросселей, при наращивании числа N силовых каналов, коэффициенты пульсаций токов нагрузки $K_{\text{пмн}}$ (рис. 2, а, б) будут в N раз уменьшаться. К тому же, коэффициенты пульсаций $K_{\text{пмн}}$ стремятся к нулю в точках, где, $\bar{U}_{\text{п}} = N/k - 1$, k – номер силового канала ($k = 1, 2, 3, \dots, N$), причем таких точек во всем диапазоне изменения значения величины входного напряжения $\bar{U}_{\text{п}}$ на единицу меньше числа N силовых каналов.

Таким образом, в статье можно сделать следующие выводы:

Проведены исследования и выявлены специфические особенности электрических процессов импульсных преобразователей модульной структуры с однофазным и многофазным принципами преобразования с силовыми каналами понижающего типа в граничном режиме функционирования:

- в преобразователях модульной структуры и при однофазном и при многофазном принципе преобразования характер изменения значений коэффициентов пульсаций токов на входе одинаков и не зависит ни от числа силовых каналов, ни от величины коэффициента трансформации дросселя;
- увеличение относительного напряжения питания к увеличению коэффициентов пульсаций токов потребления;
- при коэффициенте трансформации равном единице коэффициент пульсаций токов нагрузки ОИП равен единице и не зависит от величины относительного напряжения питания;
- увеличение числа N силовых каналов МИП приводит к уменьшению коэффициентов пульсаций токов нагрузки в N раз, независимо от коэффициента трансформации дросселя;
- в точках, где, относительное напряжение питания принимает значение $\bar{U}_{\text{п}} = N/k - 1$, коэффициенты пульсаций тока нагрузки МИП стремится к нулю, причем таких точек на единицу меньше числа силовых каналов во всем диапазоне изменения значения величины относительного напряжения питания;
- отклонение коэффициентов трансформации дросселя от значения, равного единице

приводит к увеличению коэффициентов пульсаций в выходных цепях преобразователей и при однофазном и при многофазном принципах преобразования.

Таким образом, эффективность фильтрации переменной составляющей токов нагрузки МИП будет больше, чем в аналогичном случае при ОИП независимо от величины относительного напряжения питания, коэффициента трансформации и числа силовых каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кадацкий А.Ф. Анализ электрических процессов в МИП постоянного напряжения при граничных токах дросселей / А.Ф. Кадацкий, И.П. Малявин, А.В. Кочетков, О.В. Швец // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 20–30.
2. Кочетков А.В. Влияние режима работы силовых каналов понижающего типа на выходные пульсации многофазных импульсных преобразователей постоянного напряжения / Кочетков А.В. // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2011. – № 1. – С. 32–38.
3. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы импульсных преобразователей модульной структуры с силовыми каналами повышающего типа / А.Ф. Кадацкий, О.В. Швец, А.В. Кочетков, Т.Н. Ерыкалина // Восточно-европейский журнал передовых технологий 4/9 (58). – 2012. – С. 10–16.
4. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы импульсных преобразователей постоянного напряжения модульной структуры с силовыми каналами понижающего типа с граничным режимом функционирования / А.Ф. Кадацкий, А.В. Кочетков, О.В. Швец // Збірник наукових праць «Цифрові технології». – 2012. – № 11. – С. 136–148.
5. Кадацкий А.Ф. Алгоритмы моделирования энергетических параметров преобразователей постоянного напряжения модульной структуры с граничным режимом функционирования / А.Ф. Кадацкий, А.П. Русу, Т.М. Ерыкалина, А.В. Кочетков // 69-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів (Одеса, 4-6 грудня 2014 року). – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014. – С. 91–94.
6. Кочетков А.В. Алгоритм исследования показателей качества электрических процессов многофазных импульсных преобразователей модульной структуры / А.В. Кочетков // 67-я науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів, 5-8 грудня 2012 року. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – С. 116–119.
7. Русу А.П. Использование динамически подключаемых библиотек для моделирования электрических процессов радиотехнических устройств. / А.П. Русу // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1 – С. 143–147.

REFERENCES

1. Kadatskiy A.F. Analiz elektricheskikh protsessov v MIP postoyannogo napryazheniya pri gra-nichnykh tokah drosseley / A.F. Kadatskiy, I.P. Malyavin, A.V. Kochetkov, O.V. Shvets // Naukovl pratsl ONAZ Im. O.S. Popova. – 2010. – # 1. – S. 20–30.
2. Kochetkov A.V. Vliyanie rezhima raboty silovykh kanalov ponizhayuschego tipa na vyihodnyie pulsatsii mnogofaznykh impulsnykh preobrazovateley postoyannogo napryazheniya / Kochetkov A.V. // Naukovl pratsl ONAZ Im. O.S. Popova. – 2011. – # 1. – S. 32–38.
3. Kadatskiy A.F. Elektricheskije protsessy impulsnykh preobrazovateley modulnoy strukturyi s silovymi kanalami povyishayuschego tipa / A.F. Kadatskiy, O.V. Shvets, A.V. Kochetkov, T.N. Eryikalina // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy 4/9 (58). – 2012. – S. 10–16.
4. Kadatskiy A.F. Elektricheskije protsessy impulsnykh preobrazovateley postoyannogo napryazheniya modulnoy strukturyi s silovymi kanalami ponizhayuschego tipa s granichnym rezhimom funktsionirovaniya / A.F. Kadatskiy, A.V. Kochetkov, O.V. Shvets // Zblnrik naukovih prats «Tsifrovl tehnologiyi». – 2012. – # 11. – S. 136–148.
5. Kadatskiy A.F. Algoritmy modelirovaniya energeticheskikh parametrov preobrazovateley postoyannogo napryazheniya modulnoy strukturyi s granichnym rezhimom funktsionirovaniya / A.F. Kadatskiy, A.P. Rusu, T.M. Eryikalina, A.V. Kochetkov // 69-ta naukovo-tehnichna konferentsiya profesorsko-vikladatskogo skladu, naukovtslv, asprantlv ta studentlv (Odesa, 4-6 grudnya 2014 roku). – Odesa: ONAZ Im. O.S. Popova, 2014. – S. 91–94.
6. Kochetkov A.V. Algoritm issledovaniya pokazateley kachestva elektricheskikh protsessov mnogofaznykh impulsnykh preobrazovateley modulnoy strukturyi / A.V. Kochetkov // 67-ya naukovo-tehnichna konferentsiya profesorsko-vikladatskogo skladu, naukovtslv, asprantlv ta studentlv, 5-8 grudnya 2012 roku. – Odesa: ONAZ Im. O.S. Popova, 2012. – S. 116–119.
7. Rusu A.P. Ispolzovanie dinamicheskii podklyuchaemykh bibliotek dlya modelirovaniya elektricheskikh protsessov radiotekhnicheskikh ustroystv. / A.P. Rusu // Naukovl pratsl ONAZ Im. O.S. Popova. – 2010. – #1 – S. 143–147.