

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СИЛОВЫХ КАНАЛОВ Понижающего типа  
НА ВЫХОДНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ МНОГОФАЗНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**ВПЛИВ РЕЖИМУ РОБОТИ СИЛОВИХ КАНАЛІВ ЗНИЖУЮЧОГО ТИПУ  
НА ВИХІДНІ ПУЛЬСАЦІЇ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ  
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ**

**THE INFLUENCE OF THE OPERATION MODE OF THE DOWNCONVERSION  
POWER CHANNEL ON THE OUTPUT PULSATION OF THE DC VOLTAGE  
MULTIPHASE PULSE TRANSDUCERS**

**Аннотация.** Выполнено исследование многофазных импульсных преобразователей с силовыми каналами понижающего типа в граничном режиме функционирования. Показано влияние режима работы силовых каналов на выходные пульсации тока нагрузки

**Анотація.** Виконано дослідження багатофазних імпульсних перетворювачів з силовими каналами знижуючого типу в граничному режимі функціонування. Показано вплив режиму роботи силових каналів на вихідні пульсації струму навантаження

**Summary.** The research of the multiphase pulse transducers with the downconversion power channels in the limiting operation mode was made. The effect of the power channels operation mode on the output pulsation of the load current was shown

Решение проблемы повышения надежности любой телекоммуникационной системы в значительной степени зависит от правильного выбора и построения средств, систем электропитания [1].

Использование многофазного принципа преобразования и регулирования электрической энергии в многофазных импульсных преобразователях (МИП) способствует повышению КПД, удельной мощности и надежности; снижению стоимости и массогабаритных показателей; улучшению качества выходных параметров и электромагнитной совместимости.

Наиболее изучены МИП с широтно-импульсным (ШИМ) регулированием, силовые каналы (СК) которых работают в разрывном или безразрывном режимах. Граничный режим позволяет уменьшить потери при переключении силовых коммутирующих элементов, повысить КПД, улучшить динамические характеристики [2]. Однако отсутствие результатов исследования электрических процессов МИП, силовые каналы которых работают в граничном режиме, сдерживает широкое использование таких преобразователей.

Цель работы: исследование МИП с силовыми каналами понижающего типа, работающими в граничном режиме. Исследование МИП базируются на использовании математической модели [2], описывающей электрические процессы и энергетические параметры МИП.

Силовые каналы МИП могут быть выполнены по любой из известных схем СК. Исполнение обмотки дросселя в виде двух частей и включение их по автотрансформаторной схеме позволяет или уменьшить (рис. 1, б, при коэффициенте трансформации  $n_{21} > 1$ ) или увеличить (рис. 1, в, при  $n_{21} < 1$ ) напряжение на силовом коммутирующем транзисторе по сравнению с простейшими типами СК с однообмоточным дросселем (рис. 1, а) [1].

Через коэффициент трансформации  $n_{21}$  связаны амплитудные значения токов  $I_{m1}$ , первичной  $W_1$  и  $I_{m2}$  вторичной  $W_2$  полуобмоток дросселя с индуктивностью  $L_1$  и  $L_2$ :  $L_2 = L_1 n_{21}^2$ ;  $n_{21} = W_2 / W_1$ ;  $I_{m1} = n_{21} I_{m2}$ , где  $W_1, W_2$  - количество витков первичной и вторичной полуобмоток дросселя,  $L_1$  и  $L_2$  - индуктивности первичной и вторичной полуобмоток дросселя [2].

В граничном режиме работы СК МИП (рис. 2), мгновенный ток дросселя  $i_L(t)$  на каждом периоде преобразования спадает до нуля с последующим возрастанием и при этом носит безразрывный характер, что позволяет существенно повысить КПД, за счёт включения силовых коммутирующих элементов в моменты отсутствия тока в дросселе (динамические потери при включении равны нулю) [2].

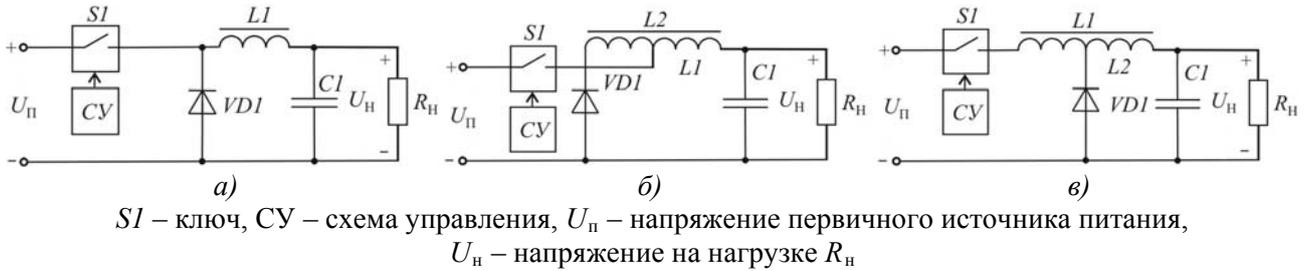


Рисунок 1 – Силовые каналы МИП понижающего типа с автотрансформаторным включением дросселя, с коэффициентами трансформации:  $n_{21} = 1(a)$ ,  $n_{21} > 1(б)$  и  $n_{21} < 1(в)$

В граничном режиме всегда:  $T = t_{н} + t_{в}$ ,  $k_{н} = t_{н}/T$ ,  $k_{в} = t_{в}/T$ , где  $k_{н}$  – коэффициент накопления;  $k_{в}$  – коэффициент возврата электрической энергии;  $T$  – период преобразования;  $t_{н}$  – время накопления энергии в дросселе,  $t_{в}$  – время возврата энергии в нагрузку.

Одним из основных показателей качества электрической энергии на входе и выходе МИП является величина пульсации переменной составляющей тока, которую принято рассматривать как в абсолютном  $\Delta I$ , так и в относительном виде  $K_{п}$  (коэффициент пульсации).

Определение абсолютных  $\Delta I$  и относительных  $K_{п}$  пульсаций тока во входных и выходных цепях МИП позволяет оптимально выбирать параметры сглаживающих фильтров для обеспечения требуемых пульсаций во входных и выходных цепях МИП [1].

В режиме стабилизации выходного напряжения  $U_{н}$  коэффициент накопления  $k_{н}$  является функцией входного напряжения  $U_{п}$ . При изменении  $U_{п}$  изменяется и  $k_{н}$ , это оказывает влияние и на величину пульсации тока нагрузки  $\Delta I_{н}$ .

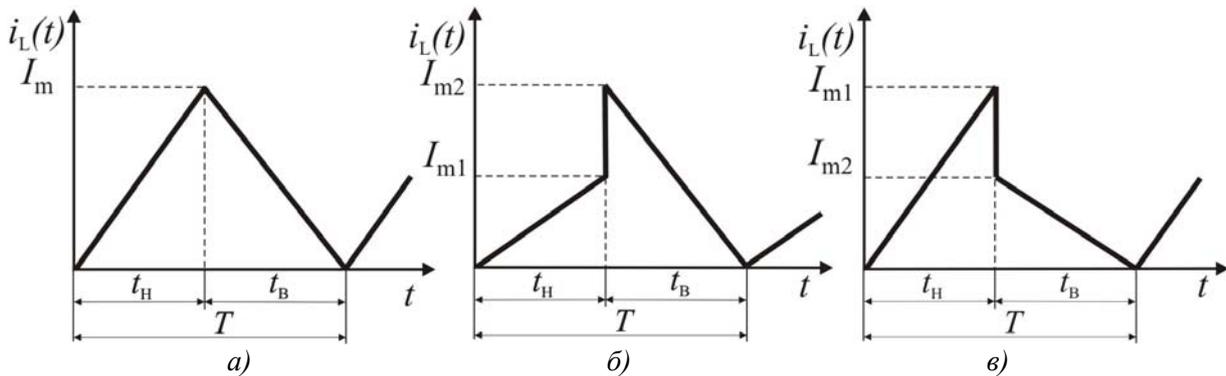


Рисунок 2 – Диаграммы тока  $i_L(t)$  дросселя СК при граничном режиме работы преобразователя с различными коэффициентами трансформации:  $n_{21} = 1(a)$ ,  $n_{21} > 1(б)$ ,  $n_{21} < 1(в)$

Исходя из сказанного, интерес представляет изучение влияния режима работы силовых каналов (изменение коэффициента накопления  $k_{н}$ ) на показатели качества МИП, величину пульсации тока нагрузки  $\Delta I_{н}$ .

Зная диапазон изменения  $U_{п}$  или  $k_{н}$ , можно оценить величину пульсаций переменных составляющих тока нагрузки, определить требуемые параметры сглаживающих фильтров.

Ниже приведены результаты исследования МИП понижающего типа.

На рис. 3 приведены зависимости размаха пульсаций тока нагрузки  $\Delta I_{н}$  отдельно взятого СК от коэффициента трансформации  $n_{21}$  при различных коэффициентах накопления  $k_{н}$ . Цифрами обозначены анализируемые точки при  $n_{21} = 0,5$ ,  $n_{21} = 1$ ,  $n_{21} = 2$ .

Исследования МИП (рис. 3) проводились при следующих исходных данных: среднее значение тока нагрузки  $I_{н} = 1A$ ; индуктивность первичной полуобмотки дросселя  $L_1 = 1,25$  мкГн, МИП работает в режиме стабилизации при граничном токе дросселя.

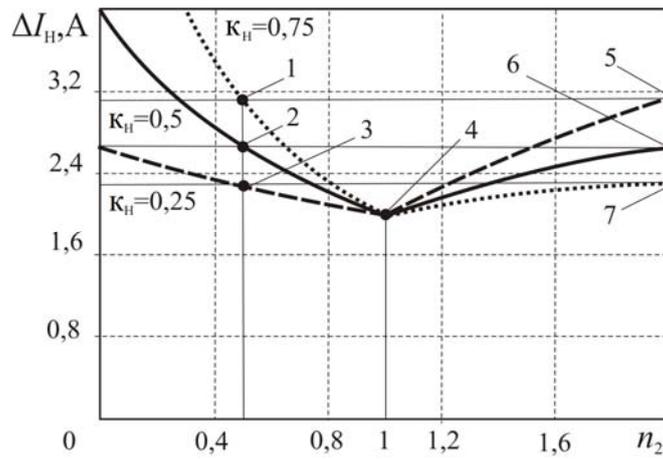


Рисунок 3 – Зависимости пульсаций тока нагрузки  $\Delta I_n$  от  $n_{21}$  при различных  $\kappa_n$

Из зависимости (рис. 3) видно, что при различных коэффициентах накопления ( $\kappa_n=0,25; 0,5; 0,75$ ) и трансформации ( $n_{21}=0,5; 1; 2$ ), пульсации тока нагрузки имеют одинаковый уровень в точках 1 и 5; 2 и 6; 3 и 7, а также при коэффициенте трансформации  $n_{21}=1$  в точке 4. При этом характер изменения величины абсолютных пульсаций в рассмотренном диапазоне коэффициента трансформации не равномерный и имеет большую крутизну (скорость изменения уровня пульсации  $\Delta I_n$ ), и соответственно – больший уровень  $\Delta I_n$  при  $0 \leq n_{21} \leq 1$  при одном и том же коэффициенте накопления  $\kappa_n$ , стремящемся к единице ( $\kappa_n \rightarrow 1$ ).

Видно (рис. 3), что при пропорциональном изменении коэффициента трансформации  $n_{21}$  относительно  $n_{21} = 1$  (например, в 2 раза – значения  $n_{21} = 0,5$  и  $n_{21} = 2$ ) уровень пульсации  $\Delta I_n$  в точке 1 больше, чем уровень пульсации  $\Delta I_n$  в точке 7 при  $\kappa_n = 0,75$ .

И наоборот, при коэффициенте накопления  $\kappa_n$ , стремящемся к нулю ( $\kappa_n \rightarrow 0$ ) скорость изменения уровня пульсации (крутизна) в диапазоне изменения  $0 \leq n_{21} \leq 1$  меньше, по сравнению с диапазоном изменения  $1 \leq n_{21} \leq 2$ . Видно (рис. 3), что уровень пульсации  $\Delta I_n$  в точке 3 меньше, чем уровень пульсации  $\Delta I_n$  в точке 5 при  $\kappa_n = 0,25$ .

При значении  $n_{21}=1$  видно (рис. 3), что амплитуда пульсации тока нагрузки одинакова при любом коэффициенте накопления и составляет удвоенное значение среднего тока нагрузки – точка 4 (рис. 3).

Характер изменения пульсаций тока нагрузки прослеживается и на временных диаграммах (рис. 4). На рис. 4 приняты следующие обозначения:  $\bar{t} = t/T$  – относительное время;  $n_{21}$  – коэффициент трансформации дросселя.

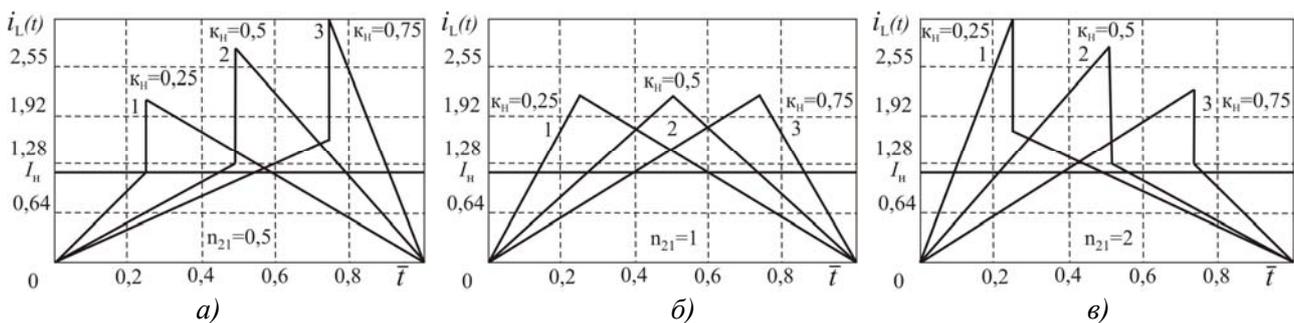


Рисунок 4 – Временные диаграммы тока дросселя СК при различных  $\kappa_n$  с коэффициентами трансформации:  $n_{21}=0,5$  (а),  $n_{21}=1$  (б) и  $n_{21}=2$  (в)

Например, при  $n_{21} = 0,5$  амплитуда пульсации возрастает с увеличением коэффициента накопления при одном и том же среднем значении тока нагрузки  $I_n$  (рис. 4, а).

Видно, что уровень пульсации  $\Delta I_n$  в диаграмме 3 (при  $\kappa_n = 0,75$ ) больше, чем в диаграмме 1 (при  $\kappa_n = 0,25$ ). И наоборот при коэффициенте трансформации  $n_{21} = 2$  (рис. 4, в) величина пульсаций возрастает с уменьшением коэффициента накопления при одном и том же среднем значении тока нагрузки  $I_n$ .

При этом видна симметрия – амплитуда пульсации  $\Delta I_n$  при разных коэффициентах трансформации и накопления в отдельных случаях одинакова (рис. 3) – при  $n_{21}=2$ ,  $k_n=0,25$  и  $n_{21}=0,5$ ,  $k_n=0,75$  – точки 1 и 5, при  $n_{21}=0,5$ ,  $k_n=0,5$  и  $n_{21}=2$ ,  $k_n=0,5$  – точки 2 и 6, при  $n_{21}=0,5$ ,  $k_n=0,25$  и  $n_{21}=2$ ,  $k_n=0,75$  – точки 3 и 7.

При коэффициенте трансформации  $n_{21}=1$ , пульсации тока дросселя для различных коэффициентов накопления  $k_n$  одинаковы – (рис. 4, б).

Видно, что при  $n_{21}=1$  (рис. 4, б), при любых коэффициентах накопления величина пульсации тока дросселя  $i_L(t)$  будет иметь постоянное значение.

Из приведенных зависимостей можно сделать вывод, что в понижающем СК МИП при любом коэффициенте накопления пульсации тока нагрузки будут минимальными при коэффициенте трансформации  $n_{21}=1$  (рис. 3, точка 4, рис. 4, б).

Используя рассмотренные зависимости – для отдельно взятого СК – можно оценивать характер изменения пульсации тока нагрузки в заданном диапазоне изменения входного напряжения  $U_n$  ( $k_n$ ) для МИП.

Например, можно ожидать, что для коэффициента трансформации  $n_{21}>1$  уровень пульсации будет больше при коэффициентах накопления  $k_n$ , стремящихся к нулю ( $k_n \rightarrow 0$ ), по сравнению со случаем при  $n_{21}>1$ , но при коэффициентах накопления  $k_n$ , стремящихся к единице ( $k_n \rightarrow 1$ ).

Сказанное иллюстрируется временными диаграммами рис. 4 и 5, на котором представлены зависимости  $\Delta I_n$  от  $k_n$  при различных коэффициентах трансформации  $n_{21}$  для МИП при  $N=4$  (где  $N$  – количество силовых каналов).

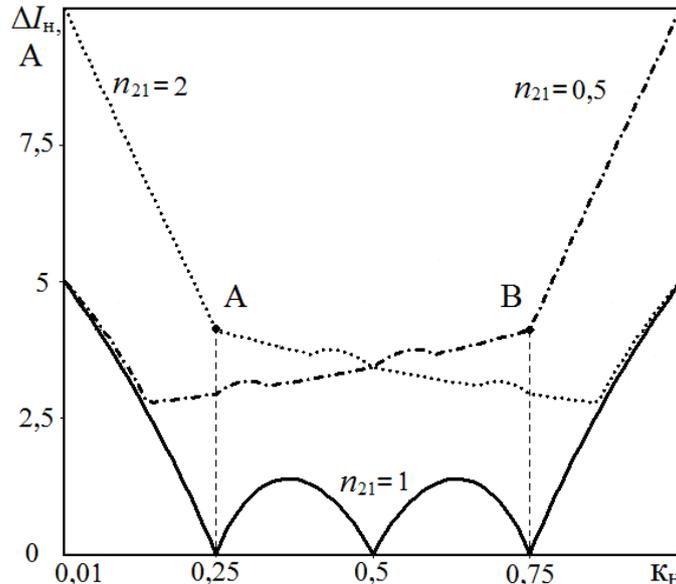


Рисунок 5 – Зависимости пульсаций тока нагрузки  $\Delta I_n$  от  $k_n$  для МИП при  $N=4$

Видно (рис. 5), что также, как и для отдельно взятого СК (рис. 3, рис. 4, а, в), наблюдается симметрия значений амплитуд пульсаций токов нагрузки  $\Delta I_n$  для различных значений коэффициентов трансформации  $n_{21}$  и накопления  $k_n$ . Например, для  $k_n=0,25$  при  $n_{21}=2$  значение амплитуды пульсаций  $\Delta I_n=4$  (точка А) – такое же, как и для  $k_n=0,75$  при  $n_{21}=0,5$  (точка В).

Вывод: таким образом, характер изменения (увеличения, уменьшения) пульсации тока дросселя отдельно взятого силового канала многофазного преобразователя понижающего типа совпадает с характером изменения величины пульсаций на входе и выходе МИП.

**Литература**

1. Кадацкий А.Ф. Действующие значения токов элементов силовых каналов импульсных преобразователей постоянного напряжения с широтно-импульсным методом регулирования / А.Ф. Кадацкий, А.П. Русу // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – № 1. – С. 11 – 17.
2. 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.