

МИНИМИЗАЦИЯ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Шавёлкин А.А.

Донецкий национальный технический университет

Розглянуто варіанти виконання силових кіл каскадного багаторівневого перетворювача частоти із зменшеною кількістю ключів. Зменшення кількості ключів майже вдвічі досягається у несиметричній схемі з суміщенням функцій ключів або за рахунок використання трьох інверторів з різними напругами живлення.

Вопросы энергосбережения на предприятиях топливно-энергетического комплекса и в других отраслях непосредственно связаны с применением энергосберегающих систем регулируемого электропривода переменного тока среднего напряжения (6-10кВ).

В настоящее время ведущими фирмами производителями выпускаются каскадные многоуровневые преобразователи частоты (МПЧ) среднего напряжения (до 6-10кВ). Этот класс преобразователей [1] обеспечивает наилучшие выходные и входные характеристики. Схема включает в себя инверторную часть и звено постоянного тока, включая трансформатор на входе МПЧ. Каждая фаза содержит n последовательно соединенных однофазных автономных инверторов напряжения (АИН), получающих питание от изолированных источников постоянного тока (рис.1). Источник постоянного тока – трехфазный мостовой выпрямитель с конденсатором на выходе, питается от изолированной вторичной обмотки трансформатора. Таким образом, схема МПЧ достаточно сложна, содержит большое количество элементов. Сложная и система управления, включая световолоконные линии связи с силовыми цепями. При шести инверторах на фазу (напряжение 6 кВ) в состоянии проводимости находятся одновременно 12 ключей, это обуславливает значительные потери энергии в силовой цепи и усложняет систему охлаждения. Как следствие, такие преобразователи имеют более высокую стоимость в сравнении с другими типами.

В связи с этим актуальной задачей является вопрос минимизации силовых цепей. Реальность этого связана с созданием полупроводниковых ключей на напряжения 6.5кВ, в то время как исторически структура силовых цепей ориентировалась на использование низковольтных ключей при суммировании напряжений источников.

Классический вариант схемы МПЧ при одинаковых напряжениях источников следует отнести к симметричным (рис.1,а). В каждом из АИН (например, UZ_1) всегда открыты и проводят ток два ключа. При этом имеют место следующие значения выходного напряжения: замкнуты ключи K_1, K_2 или K_3, K_4 (в зависимости от направления тока) выходное напряжение $U_{ВЫХ} = 0$; замкнуты ключи K_1, K_4 - $U_{ВЫХ} = +E$; замкнуты ключи K_2, K_3 - $U_{ВЫХ} = -E$.

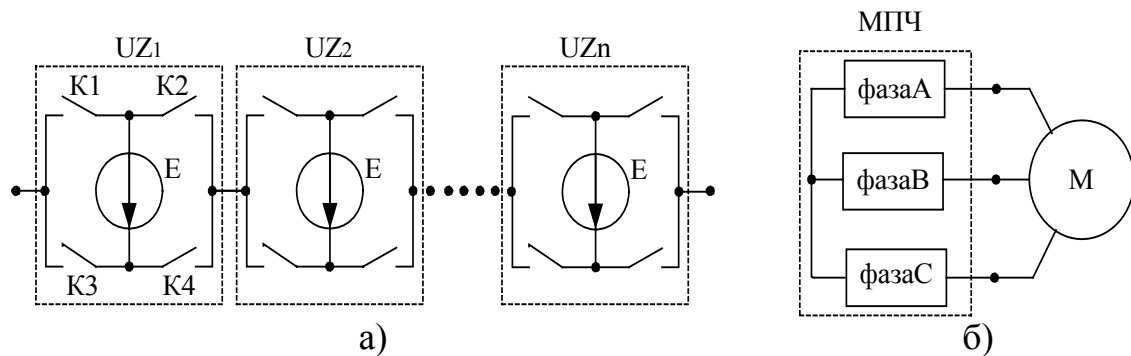


Рисунок 1- Принцип реализации силовых цепей каскадного МПЧ

При последовательном соединении напряжения отдельных АИН суммируются получаем значения выходного напряжения фазы МПЧ $U_{ВЫХ} = \{0; \pm E; \pm 2E; \dots \pm nE\}$, а общее количество уровней в кривой фазного напряжения МПЧ (включая нулевой): $N = (2n + 1)$. Число ключей на фазу МПЧ $k = 4n$.

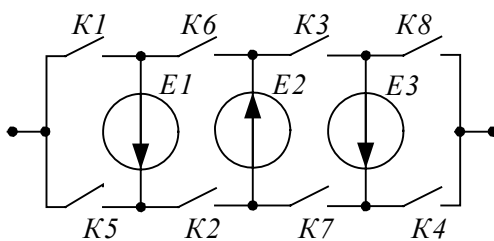


Рисунок 2- Принцип реализации МПЧ с несимметрией силовых цепей

В ДонНТУ предложен вариант реализации силовой цепи фазы МПЧ с уменьшением количества ключей на коммутируемый источник [2], приведенный на рис.2. Данная схема несимметрична и предполагает детерминированное включение ключей связывающих соседние источники.

Как результат, уменьшаются возможности при комбинировании напряжений источников, так суммируются напряжения только соседних источников. При этом вместо $4n$ ключей на фазу МПЧ используется только $2(n+1)$, так при $n=6$ вместо 24 имеем 14 ключей. Правда, ключи, соединяющие соседние источники рассчитаны на удвоенное напряжение (источники напряжения в контуре коммутации включены последовательно согласно).

Другой подход к минимизации схемы связан с использованием источников с различными напряжениями [3,4]. При этом количество источников на фазу уменьшается до 2-3 и, соответственно, уменьшается количество ключей 8-12. Используя только три АИН с напряжениями источников $E_1=U$, $E_2=2U$, $E_3=3U$ и комбинируя их включение получаем 13 уровней выходного напряжения фазы МПЧ: $U_{вых}=\{0, \pm U, \pm 2U, \pm 3U, \pm 4U, \pm 5U, \pm 6U\}$. Таким образом, используя три АИН получаем максимальное значение выходного напряжения $U_m=6U$, что равноценно $n=6$ в симметричном МПЧ – число ключей и источников уменьшилось вдвое. Возможны и другие соотношения напряжений источников

Использование несимметричной схемы (рис.2) с совмещением функций ключей позволяет уменьшить число ключей до 8. Нетрудно показать, что равномерный шаг в кривой выходного напряжения достигается только при соотношениях уровней напряжений $E_1:E_2:E_3=1:3:2$.

При этом схема содержит на фазу 8 ключей, два из которых (при напряжении 6 кВ) на 707 В, два на напряжение $2*707$ В, два на напряжение $4*707$ В, два на напряжение $5*707$. С учетом запаса по возможным перенапряжениям все ключи укладываются в класс 6.5 кВ.

Выводы:

- Использование схемы МПЧ с несимметрией силовых цепей позволяет уменьшить количество ключей в схеме с $4n$ до $2(n+1)$.

- Уменьшения вдвое количества ключей и источников в схеме МПЧ при сохранении качества выходного напряжения достигается использованием источников с различными напряжениями.

- Наиболее полно возможности минимизации силовых цепей МПЧ реализуются в несимметричной схеме при различных напряжениях источников. В силу несимметрии схемы формирование напряжения с равномерным шагом возможно только при соотношении $E_1:E_2:E_3=1:3:2$.

Литература:

1. José Rodríguez, Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 49, № 4, AUGUST 2002, p.724- 738.
2. Шавьолкін О.О. “Багаторівневий перетворювач частоти” Декларативний патент на корисну модель № 9148 МПК 7 H02P7/44, H02M5/00, опубл.15.09.2005, Бюл. № 9.
3. J. Song - Manguelle, S. Mariethoz, M. Veenstra, Rufer. A. Generalized Design Principle of a Uniform Step Asymmetrical Multilevel Converter For High Power Conversion. EPE 2001 – Graz.
4. Шавёлкин А.А. Несимметричный каскадный многоуровневый преобразователь частоты// Праці ЛВ МАІ №1 (10) – 2005р., с.174 -178.