их эффективности следует идти по пути уменьшения необратимости топочных процессов. Но современное состояние науки и техники пока не дает конкретных рекомендаций.

Точно также энергетический баланс не вскрывает существа энергетических превращений и не дает правильной оценки эффективности тепловых электростанций в целом и их частей.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Энергетическая обстановка на Украине может быть улучшена в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами за счет внедрения газотурбинных и парогазовых технологий.

2. Достоинства и область применения ГТУ и ПГУ позволяют считать, что в последующие годы их использование в мировой энергетике станет доминирующим.

3. Для оценки эффективности энергопреобразующих систем наиболее приемлемым является метод эксергетических балансов, позволяющих оценить совершенство не только всей системы в целом, но и каждого отдельного узла.

Список литературы

1. Технологическое перевооружении ТЭЦ на базе парогазовых технологий с использованием параллельной схемы / **В.И. Длугосельский, А.Д. Гольштейн, Т.Н. Комисарчик** [и др.] // Теплоэнергетика, 2006. – №12. – С. 11-18.

2. Мировой опыт и перспективы внедрения парогазовых и газотурбинных технологий в теплоэнергетику России на основе возможностей отечественного машиностроения / О.Н. Фаворский, В.Л. Полищук, И.М. Лившиц, В.И. Длугосельский // Теплоэнергетика, 2007. – №9. – С. 46-51.

3. **Долинский А. А.** Парогазовая тенология производства электрической и тепловой энергии / **А.А. Долинский, Н.А. Дикий** // Пром. Теплотехника, 1999. – №4-5. – С. 89-92.

4. **Бухаркин Е.Н.** Газотурбинные установки в водогрейных котельных / **Е.Н. Бухаркин** // Промышленная энергетика, 2006. – №2. – С. 43-48.

5. **Чепурной М. Н.** Показатели работы газопаровых установок на базе промышленных котельных и ГТУ / **М.Н. Чепурной, В.В. Бужинский, С.Й. Ткаченко** // Пром. Теплотехника, 2005. – №4. – С. 86-90.

Рукопись поступила в редакцию 23.04.11

УДК 621.314.58

Ю.Г. ОСАДЧУК[·], канд. техн. наук, доц., І.А. КОЗАКЕВИЧ, аспірант,
О.М. КУЛИК, студентка, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДТРИМАННЯ БАЛАНСУ ЧАСТКОВИХ НАПРУГ В ЛАНЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ БАГАТОРІВНЕВОГО ІНВЕРТОРА З ФІКСУЮЧИМИ ДІОДАМИ

У статті розглянуто принцип роботи просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції для багаторівневого інвертора напруги з фіксуючими діодами для підтримання балансу напруг в ланці постійного струму. Розглядається можливість вирівнювання напруг засобами самого інвертора. Встановлені межі щодо коефіцієнту модуляції та кута навантаження, при яких зберігається стійкість роботи системи. Шляхом математичного моделювання підтверджено достовірність отриманих результатів.

Проблема та її зв'язки з науковими та практичними завданнями. Останнім часом багаторівневі інвертори привертають до себе все більше уваги. Це пояснюється тими численними перевагами, які вони мають перед класичними дворівневими інверторами, такими як можливість створення високовольтних пристроїв на базі елементної бази, що розрахована на меншу напругу, уникаючи проблем, що пов'язані з послідовним з'єднанням пристроїв; зменшення спотворень вихідного струму інвертора. Але підвищення кількості напівпровідникових ключів вимагає реалізації більш складного алгоритму керування ними.

Аналіз досліджень і публікації. Найбільш популярними варіантами реалізації багаторівневого інвертора є інвертор з фіксуючими діодами, інвертор з плаваючими конденсаторами та інвертор на базі послідовно з'єднаних Н-мостів. Варіант інвертора з фіксуючими діодами представляється як один з найпростіших в реалізації та відносно недорогих. Структура багаторівневого інвертора з фіксуючими діодами представлена на рис. 1 (число рівнів - 4).

Цей інвертор містить по 6 транзисторів у кожному плечі, які дозволяють підключати вихідну фазу до однієї з часткових напруг ланки постійного струму.

В кожний момент часу (якщо знехтувати наявністю «мертвого» часу) в кожному плечі інвертора включено 3 сусідні транзистори. Тобто, існує 64 різних станів інвертора, які формують вихідні узагальнюючі вектори напруги, що зображені на рис. 2.

· © Осадчук Ю.Г., Козакевич І.А., Кулик О.М., 2012

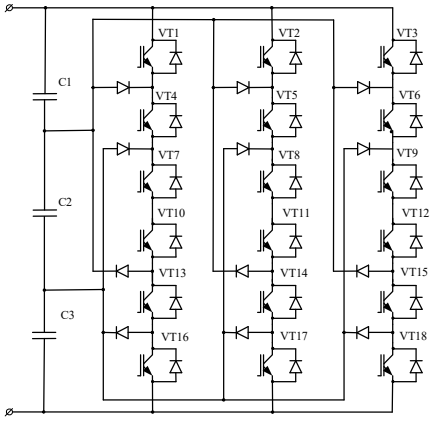

Рис. 1. Чотирирівневий інвертор напруги

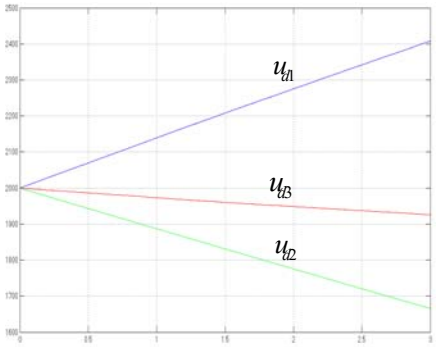

Рис. 3. Зміна часткових напруг ланки постійного струму багаторівневого інвертора напруги при відсутності засобів підтримки їх балансу

льним, оскільки при цьому не самого інвертора, а лише алго- Але такий метод вирівнювання женя.

Оскільки під час роботи інвертора навантаження під'єднується до часткових напруг ланки постійного струму, то у деяких випадках це може призводити до зміни часткових напруг, порушуючи їх рівність (рис. 3).

Цей дисбаланс напруг приводить до спотворення форми вихідних струмів інвертора (рис. 4).

Проблема підтримання балансу напруг в ланці постійного струму багаторівневого інвертора може вирішуватися двома шляхами:

встановленням додаткових електричних ланцюгів для розряду та заряду конденсаторів;

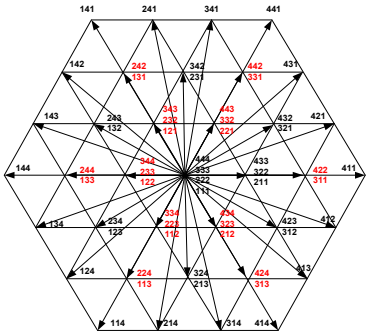

Рис. 2. Узагальнені вектори напруги, що генеруються чотирирівневим інвертором напруги - узагальнюючий вектор вихідної напруги

корекцією алгоритму просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції, яка б дозволила вирівнювати напруги засобами самого інвертора.

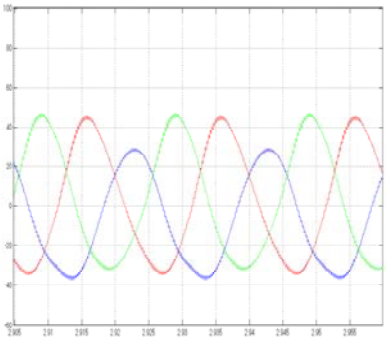

Рис. 4. Форми кривих фазного вихідного струму при нерівних напругах в ланці постійного струму: u_{d1}=2400В; u_{d2}=1800В; u_{d3}=1800В

Очевидно, що другий спосіб є найбільш оптима- ускладнюється структура ритм керування ключами. напруг має свої обме-

Постановка завдання. Виявити межі можливостей вирівнювання балансу часткових напруг в ланці постійного струму багаторівневого перетворювача частоти з фіксуючими діодами залежно від глибини модуляції та характеру навантаження.

Викладення матеріалу і результати. Як видно зі схеми інвертора, часткові напруги ланки постійного струму створюються за допомогою конденсаторного подільника. За умови, що енергія, яка береться з кожного конденсатора одна й та ж, рівні часткових напруг ланки постійного струму залишаються тими ж. Хоча існує 64 можливі комбінації включення транзисторів інвертора, існує лише 37 унікальних векторів вихідної напруги. Деякі комбінації (наприклад, 123 та 234) створюють один і той же вектор вихідної напруги. Розглянемо два стани інвертора, які представлені на рис. 5. Ці два стани генерують один і той самий узагальнюючий вектор вихідної напруги.

Різниця між ними заключається лише в тому, як навантаження підключається до ланки постійного струму.

На рис. 5*а* та 5*б* представлено можливі стани інвертора для напрямку струму $i_б$>0. При виборі комбінації, яка підключає навантаження так, як показано на рис. 5*а* при такому напрямі струму відбудеться заряд ємності, а при виборі комбінації, яка показана на рис. 5*б* - заряд ємності С3. У випадку зворотного напрямку струму, варіанти підключення навантаження при якому показані на рис. 5*в* та *г* при виборі комбінації, що показана на рис. в) відбудеться розряд ємності С1, а при виборі комбінації, що показана на рис. 5*г* - розряд С3. З цього видно, що, вибираючи між збитковими комбінаціями включення транзисторів інвертора, можна впливати на часткові напруги ланки постійного струму потрібним чином.

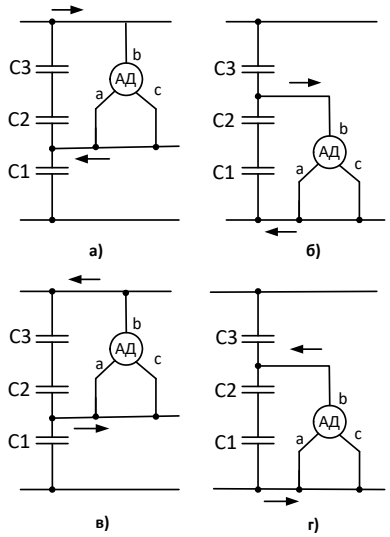

Рис. 5. Підключення навантаження

Але такий спосіб підтримання балансу напруг не завжди є ефективним. Він дозволяє вирівнювати напругу при низькому коефіцієнті модуляції, оскільки більшу частину часу працюють вектори, що мають збиткові комбінації та дозволяють коригувати напругу кожного окремого конденсатора. Результати моделювання роботи алгоритму вирівнювання напруг при низькому коефіцієнті модуляції приведені на рис. 6. З нього видно, що навіть при значних відхиленнях початкової напруги на конденсаторах, протягом роботи інвертора вони вирівнюються.

При високому коефіцієнті модуляції більшу частину періоду широтно-імпульсної модуляції включаються або вектори зовнішнього шестикутника, які не мають збиткових комбінацій, або вектори, які мають дві комбінації, але не дозволяють впливати на напругу середнього конденсатора С2.В цьому випадку скомпенсувати його поступовий розряд неможливо, що видно з рис.7.

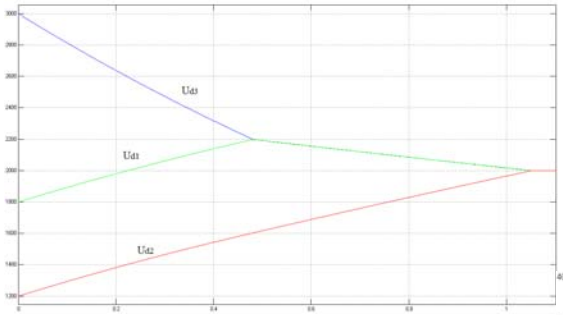

Рис. 6. Робота алгоритму вирівнювання напруг при низькому коефіцієнті модуляції: $U_{d1}(0)$=1800В; $U_{d2}(0)$=1200В; $U_{d3}(0)$=3000В

Отже, підтримання балансу часткових напруг в ланці постійного струму багаторівневого інвертора з фіксуючими діодами ланки постійного струму зберігається при виконанні наступної умови

$$m < \sqrt{3}/\pi \cos\varphi, \qquad (1)$$

де m - коефіцієнт модуляції, φ - кут навантаження.

При високому коефіцієнті модуляції більшу частину періоду широтно-імпульсної модуляції включаються або вектори зовнішнього шестикутника, які не мають збиткових комбінацій, або вектори, які мають дві комбінації, але не дозволяють впливати на напругу середнього конденсатора С2.В цьому випадку скомпенсувати його поступовий розряд неможливо, що видно з рис. 7.

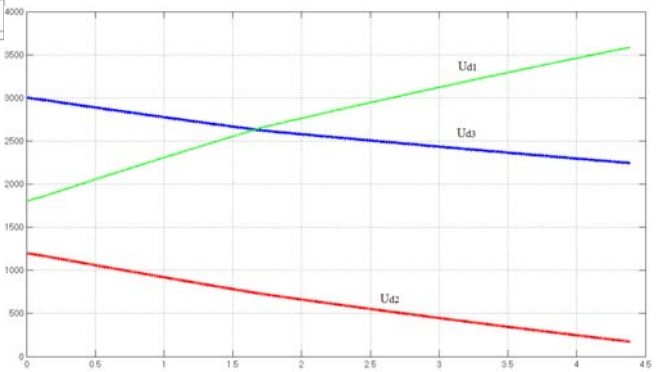

Рис. 7. Робота алгоритму вирівнювання напруг при високому коефіцієнті модуляції:$U_{d1}(0)$=1800В; $U_{d2}(0)$=1200В; $U_{d3}(0)$=3000В

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі показано можливість підтримання балансу напруг в ланці постійного струму багаторівневого інвертора з фіксуючими діодами засобами самого інвертора та визначені межі у яких даний спосіб залишається працездатним. Перевагою такої реалізації є те, що вона дозволяє обійтись без ускладнень структури перетворювача, а основним недоліком – малий діапазон стійкості при роботі з кутами навантаження, що є близькими до нуля.

Список літератури

1. **Чорний О.П**. Алгоритми формування вихідної ШІМ напруги інвертора для задач моделювання частотно-регульованих електроприводів / **О.П. Чорний, О.В. Остапенко, О.С. Воробейчик, І.В. Урдін, Ю.А. Топчієнко** // Електромеханічні і енергозберігаючі системи / Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (5), С. 39-42.

2. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / **Г.Г. Соколовский**. Учебник для вузов. – М.: ACADEMIA, 2006. – 266 с.

3. **Busquets-Monge S. , Alepuz S., Racabert J., Bordonau J.** Pulsewidth modulations for the comprehensive capacitor voltage balance of n-level two-leg diode-clamped converters // IEEE Transaction on power electronics, 2009. Vol. 24, № 8, p. 1951 – 1959.

4. **Busquets-Monge S., Alepuz S. , Rocabert J., Bordonau J., Peracaula J.** Voltage balancing control of diode-clamped multilevel converters with passive front-ends // IEEE Transactions on power electronics, 2008. Vol 23, № 4, p. 1751 – 1758.

5. **Busquets-Monge S., Rocabert J., Rodriguez P., Alepuz. S., Bordonau J.** Multilevel diode-clamped converter for photovoltaic generators with independent voltage control of each solar array // IEEE Transactions on industrial electronics, 2008. Vol. 55, №7. P. 2713 – 2723.

6. **Busquets-Monge S., Bordonau J., Rocabert J.** Extension of the nearest-three virtual-space-vector PWM to the four-level diode-clamped dc-ac converter // Power Electronics Specialists Conference, 2007. P. 1892 – 1898.

Рукопис подано до редакції 23.12.11

УДК 621.771.001.57

М.М. БЕРЕЖНИЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. ШЕПЕЛЬ, магістрантка,
О.А. САМОЙЛЮК[·], студентка, Криворізький національний університет

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Представлено короткий аналіз розвитку теорії обробки металів тиском (ОМТ). Розглянуто теоретичні підходи до математичного та статистичного моделювання процесів ОМТ. Наведено найбільш актуальні проблеми, які вимагають подальших досліджень.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У сучасній економіці України гірничо-металургійний комплекс займає одне з провідних місць. Металургія дає четверту частину загальної промислової продукції і майже половину валових надходжень від експорту. Традиційно ця галузь промисловості є енергоємною, тому в жорстких умовах ринкових відносин та конкуренції на підприємствах актуальними є питання впровадження нових технологій по зниженню енергоємності процесів формозміни металу, удосконалення режимів роботи устаткування, раціонального використання ресурсів з метою зниження собівартості продукції та підвищення її якості. Підвищення ефективності металургійних процесів потребує вірогідної кількісно-якісної оцінки параметрів, що характеризують процеси пластичної формозміни металу, а це неможливо без удосконалення і розроблення нових методів моделювання для вирішення технологічних задач ОМТ.

Постановка завдання. Метою роботи є вирішення завдання дослідницького та методичного характеру, а саме:

аналіз сучасного стану та огляд розвитку фундаментальних досліджень процесів ОМТ;

оцінка основних інженерних методів моделювання процесів ОМТ та сучасних підходів до вивчення процесів пластичного деформування металів.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Основою обробки металів тиском є процес пластичної деформації, при якому змінюється форма без зміни маси металу. Теоретичним підґрунтям усіх розрахунків процесів деформування металів тиском є закон незмінності об'єму і закон найменшого опору. Сутність першого закону полягає в тому, що об'єм металу до і після пластичного деформування залишається постійним: $V_1=V_2=..=V_i=..=V_n$.

Другий закон у теорії обробки металів тиском має назву закону найменшого опору. При вільній зміні форми тіла в напрямку трьох координатних осей X,Y,Z найбільша деформація виникає в тому напрямку, де створюється найменший опір. Будь-який процес ОМТ характеризується швидкістю деформації, геометричними розмірами та формою осередку деформації.

У даній роботі розглядається один з основних методів обробки металів - гаряча безперервна прокатка, при якій вихідна заготовка обтискується валками прокатного стану. З усіх відомих методів прокатки: поздовжньої, поперечної та поперечно-гвинтової розглядається тільки поздовжня прокатка, при якій деформування заготовки здійснюється між валками при їхньому обертанні в різних напрямках.

Теорія ОМТ - наукова основа розроблення, проектування та оптимізації процесів пластичної формозміни металів на всіх стадіях оброблення. За своєю структурою теорія ОМТ синтетична і розвивається за трьома основними напрямками: механіко-математичному, фізичному і фізико-хімічному.

Механіко-математичну основу ОМТ складають основні положення механіки суцільного середовища (теорія пружності, пластичності і повзучості), яка вивчає закономірності розподілу полів напружень, швидкостей течії, деформацій і температур в металі, що деформується. Ос-

· © Бережний М.М., Шепель А.А., Самойлюк О.А., 2012