

## ДИДАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ТРИФАЗНИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У РЕЖИМІ ВИПРЯМЛЕННЯ ТА ІНВЕРТУВАННЯ

© Климук П.П., Олійник М.Й., Маліновський А.А., Федішин В.Г., 2009

**Запропонована методика побудови часових діаграм напруг трифазних статичних перетворювачів у випростовувальних й інвертувальних режимах роботи, яка спрощує саму їхню побудову і сприяє кращому розумінню процесів у перетворювачі.**

**In presented paper a method to develop time charts of three-phase static converters in rectifying and inverting operation modes was proposed. Usage of presented approach leads to better understanding of processes in converters and simplifies the process of their creation.**

**Постановка проблеми.** Неабиякі труднощі під час вивчення принципу роботи трифазних перетворювачів у випростовувальних й інвертувальних режимах з врахуванням комутаційних процесів становить побудова форм кривих зворотних напруг, а також форм кривих напруг на їхніх полюсах. До того ж знаючи певну методику, можна істотно спростити побудову цих кривих та полегшити засвоєння процесів перетворювача.

**Аналіз останніх досліджень.** У підручниках [1–3] принцип роботи перетворювачів пояснюють на базі часових діаграм струмів та напруг, побудова яких спричиняє чималі труднощі у студентів. Автори пропонують нову методику побудови часових діаграм напруг трифазного мостового перетворювача в режимі випрямлення та інвертування.

**Виклад основного матеріалу.** Розпочнемо викладення з некерваного трифазного мостового перетворювача за умови миттєвої комутації вентилів.

Відомо, що випрямлена напруга трифазного мостового перетворювача (рис. 1) формується з додатних та від'ємних півхвиль лінійних напруг. Більше того, саме з тих півхвиль лінійних напруг, абсолютні значення яких найбільші в поточний момент часу. Враховуючи це, для побудови форми кривої випрямленої напруги достатньо нарисувати часові діаграми абсолютних значень півхвиль

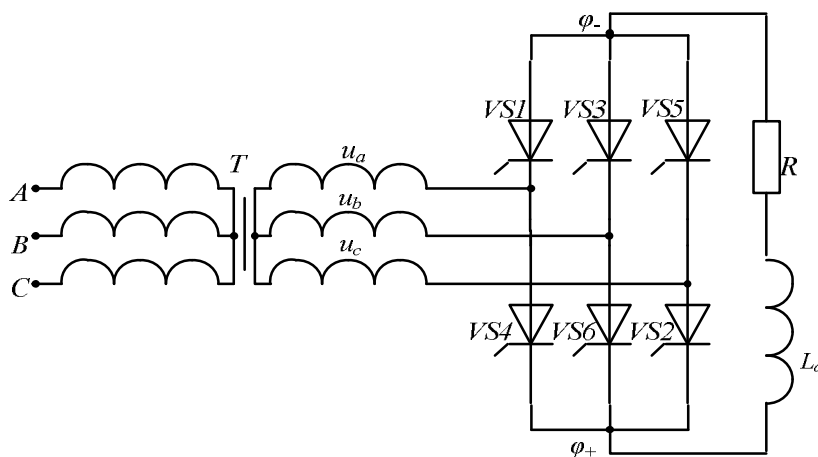


Рис. 1. Схема трифазного мостового випрямляча

лінійних напруг та взяти ті їхні ділянки, де ці напруги найбільші. Для побудови використаємо той факт, що в точках перетину відповідних фазних напруг (наприклад, фазних напруг  $u_a$  та  $u_c$ , що відповідає точкам 1 і 2) їх різниця дорівнює нулю, а посередині між цими точками є найбільше значення їх різниці, тобто амплітуда лінійної напруги (рис. 2, а). Легко зауважити, що криві абсолютних значень півперіодів лінійних напруг, які виникають між полюсами випрямляча, зміщені між собою на  $60^\circ$ . Ділянки абсолютних значень півхвиль лінійних напруг, де вони найбільші, формують випрямлену напругу  $u_d$ .

Зворотну напругу на закритому вентилі формують дві лінійні напруги, які прикладаються до нього через відкриті тиристори, що належать до тієї самої групи (анодної чи катодної). Наприклад, зворотна напруга четвертого вентиля  $u_{VS4}$  (рис. 2, а) визначається лінійною напругою  $u_{as}$  на ділянці провідності шостого тиристора та напругою  $u_{ac}$  на ділянці провідності другого тиристора (номер вентиля традиційно відповідає номеру черги його вступу в роботу).

За наявності кута керування всі процеси у схемі відбуваються подібно до розглянутих вище, криві випрямленої та зворотної напруг формуються з відповідних лінійних напруг, ділянки яких взяті зі зміщенням на кут керування  $\alpha$  (рис. 2, б).

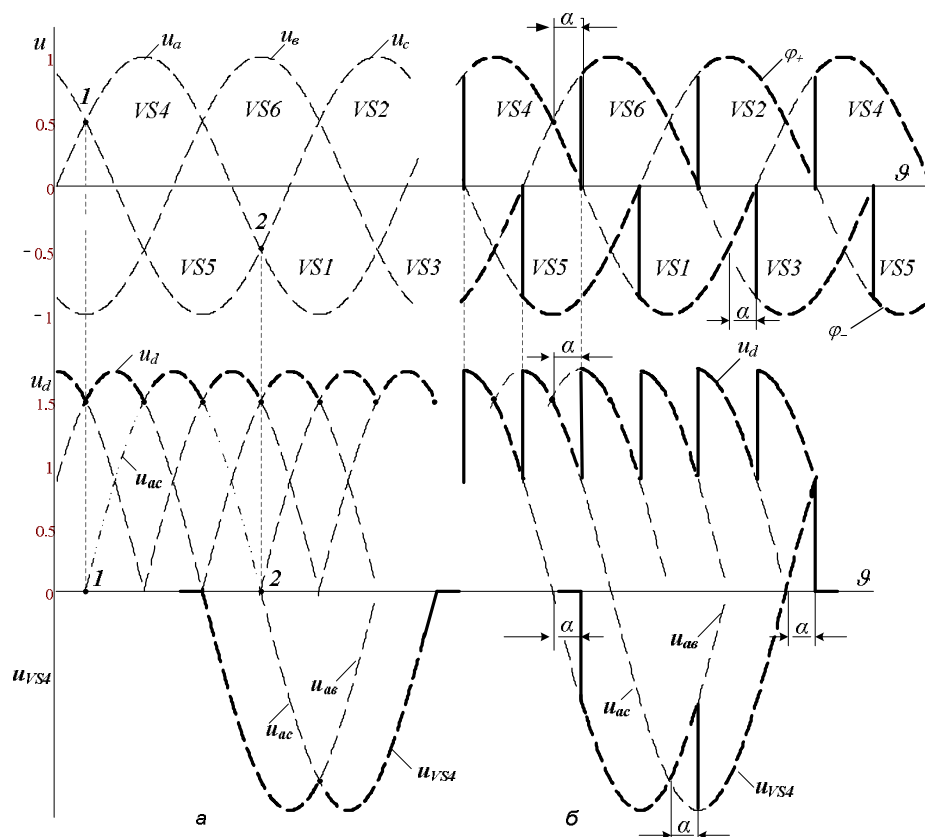


Рис. 2. Побудова форм випрямленої та зворотної напруг для  $\alpha=0^\circ$  (а) та  $\alpha \neq 0^\circ$  (б)

Якщо врахувати комутаційні процеси, то випрямлена напруга на ділянках комутації буде меншою від такої в режимі без комутації на значення спаду напруги на опорах контуру комутації  $\Delta u_{dy}$ , ділянки миттєвих значень якого заштриховані на рис. 3 (нагадаємо, що під час процесу комутації до відповідного полюса перетворювача прикладається напруга комутації  $u_{k\phi}$ , яка дорівнює півсумі напруг двох фаз, в яких відбувається комутація). Тому, якщо із напруги  $u_d$  в режимі без комутації “вирізати” комутаційні спади  $\Delta u_{dy}$  на комутаційних ділянках, тобто відняти їх від обвідної кривої, яка формує криву  $u_d$ , то отримаємо форму випрямленої напруги  $u_{dy}$  на ділянках комутації. Для такої побудови від кривої відповідної лінійної напруги на часовій діаграмі відкладаємо донизу значення напруг, що відповідають довжинам бокових сторін заштрихованої ділянки комутаційного спаду  $\Delta u_{dy}$ , взятих як різниця між відповідною фазною

напругою та напругою комутації  $u_{\kappa}$  на межі заштрихованої ділянки. Отримані точки потрібно з'єднати між собою. Точний закон зміни випрямленої напруги  $u_{d\gamma}$  на ділянці комутації вентилів, наприклад,  $VS4$  і  $VS6$  також можна описати аналітично  $u_{d\gamma} = (u_a + u_c)/2 - u_c$ . На міжкомутаційних ділянках закон зміни  $u_d$  визначатиметься відповідною лінійною напругою, що виникає між полюсами випрямляча через відкриті вентиля.

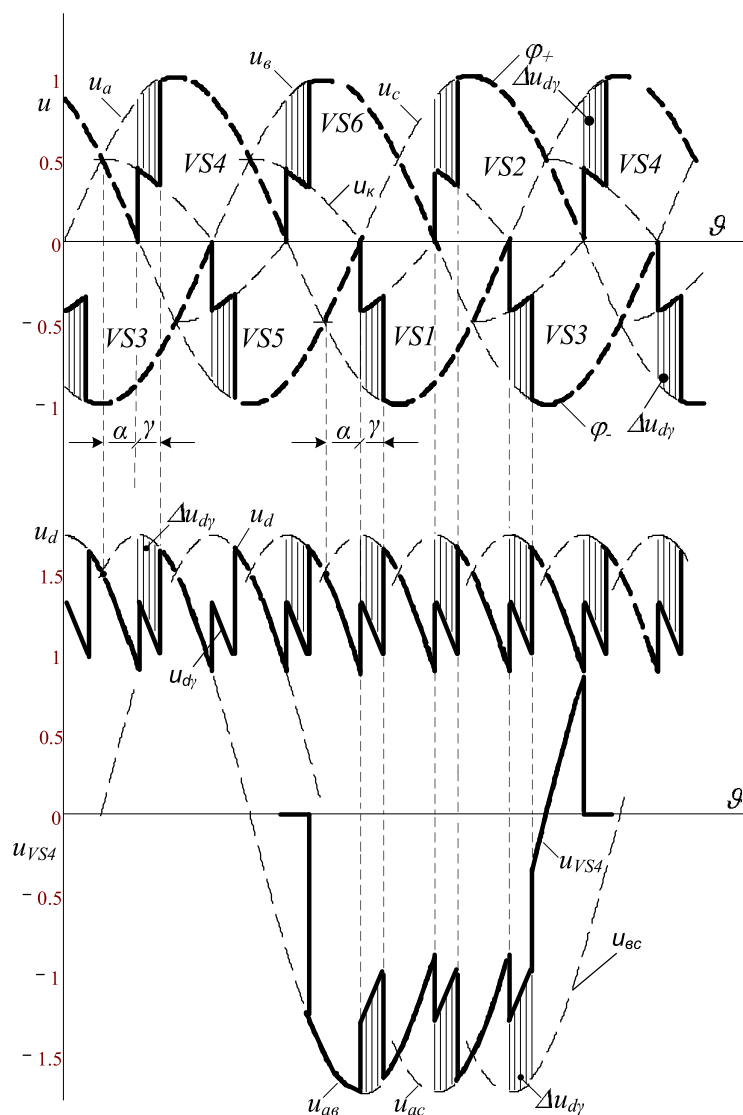


Рис. 3. Побудова форм випрямленої та зворотної напруг з врахуванням комутаційних процесів ( $\gamma \neq 0^\circ$  та  $\alpha \neq 0^\circ$ )

Форма зворотної напруги за наявності комутаційних процесів ( $\gamma \neq 0^\circ$  та  $\alpha \neq 0^\circ$ ) буде дещо складнішою, але, як і у двох розглянутих вище випадках, формуватиметься фрагментами лінійних напруг під час закритого стану вентиля. Відмінність буде лише на трьох комутаційних ділянках. Зворотна напруга, наприклад, четвертого тиристора зразу ж після його закриття визначатиметься лінійною напругою  $u_{ab}$ . Коли відбувається комутація п'ятого та першого тиристорів до анода четвертого тиристора замість напруги  $u_a$  буде прикладена комутаційна напруга  $u_{\kappa} = (u_a + u_c)/2$ . Це призведе до зменшення зворотної напруги на цьому інтервалі комутації на величину комутаційного спаду напруги  $\Delta u_{d\gamma}$ . Отже, від кривої напруги  $u_{ab}$  віднімаємо комутаційний спад, тобто "вирізаємо" його з кривої  $u_{ab}$  і отримуємо закон зміни зворотної напруги на першій комутаційній ділянці.

На інтервалі комутації шостого та другого тиристорів до катода четвертого тиристора замість напруги  $u_b$  буде прикладена напруга комутації  $u_{\kappa} = (u_a + u_c)/2$ , що призведе до збільшення зворотної



В інвертувальному режимі зворотна напруга вентиля визначається тими самими лінійними напругами, як і в режимі випрямлення. Наприклад, зворотна напруга четвертого тиристора визначається на міжкомутаційних ділянках лінійними напругами  $u_{av}$  та  $u_{ac}$  (рис. 1). Форму зворотної напруги на комутаційних ділянках вентиля  $VS4$  знайдемо аналогічно як і в режимі випрямлення: від двох лінійних напруг  $u_{av}$  та  $u_{ac}$  та допоміжної  $u_{cv}$  потрібно відняти комутаційний спад напруги  $\Delta u_{dy}$  (рис. 4, в). Зауважимо, що допоміжну лінійну напругу для побудови зворотної напруги тиристора  $VS4$  за умови роботи перетворювача в інвертувальному режимі необхідно брати першою перед напругами, які її формують.

**Висновки.** Форму зворотної напруги вентиля трифазного мостового перетворювача з врахуванням комутаційних процесів легко будувати з використанням трьох лінійних напруг: двох, які безпосередньо її формують, та третьої допоміжної.

1. Забродин Ю.С. *Промышленная электроника: Учеб. для вузов.* – М.: Высш. шк., 1982. – 496 с.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. *Основы преобразовательной техники: Учеб. для вузов.* – М.: Высш. шк., 1980. – 424 с.
3. Горбачёв Г.Н., Чаплыгин Е.Е. *Промышленная электроника: Учеб. для вузов / Под ред. В.А. Лабунцова.* – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.

УДК 621.316.1.052

В.С. Коновал, О.І. Скрипник, Т.О. Товстяк  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
ТзОВ “ЕЛЕКС”

## АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ СКЛАДНИХ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИКИ ЛІКВІДАЦІЇ АСИНХРОННИХ РЕЖИМІВ

© Коновал В.С., Скрипник О.І., Товстяк Т.О., 2009

**Розглянуто особливості розрахунків та аналізу аварійних ситуацій електроенергетичних систем з врахуванням дії пристроїв АЛАР за допомогою програмного комплексу ДАКАР-2009.**

**Consider the particular calculations and analysis of emergency power systems with consideration of action of ALAR using software DAKAR-2009.**

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Під час роботи електроенергетичної системи виникають різноманітні збурення. Щоб забезпечити якість електричної енергії при невеликих, але постійно діючих збуреннях, які виникають у нормальному експлуатаційному режимі, наприклад, при зміні навантаження, енергосистему споряджають різними автоматичними регуляторами. Але оскільки коефіцієнти посилення регуляторів цієї системи вибираються так, щоб забезпечити стійкість регулювання у нормальному експлуатаційному режимі, то у разі великих збурень, наприклад, під час коротких замикань (КЗ) або аварійному вимиканні силових елементів схеми, автоматична система регулювання недостатньо ефективна.

Під час великих збурень діють такі пристрої, як релейний захист (РЗ), автоматичне повторне вмикання (АПВ), автоматичне частотне розвантаження (АЧР), автоматичне вмикання резерву (АВР). Але вони не завжди спроможні успішно локалізувати та ліквідувати аварію й відновити початкову схему з'єднань енергосистеми. Наприклад, під час стійкого КЗ дія пристрою АПВ буде