

## ТРАНСФОРМАТОРНО-ТИРИСТОРНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НАПРУГИ З ВЕКТОРНИМ КЕРУВАННЯМ

**Голубєв В.В., ст. наук. співробітник**

*Інституту електродинаміки НАН України*

**Грудська В.П., доц., Чибеліс В.І., доц.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедри теоретичної електротехніки*

**Берчук К.О., Голота А.І., студенти**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів*

**Вступ.** Практично в усіх областях електротехнічної галузі для регулювання, стабілізації та симетрування змінної напруги широко використовують трансформаторно-тиристорні перетворювачі (ТТПН). Їхнє розповсюдження обумовлене високою надійністю і великим коефіцієнтом підсилення кола керування, що суттєво зменшує витрати на керування і собівартість таких пристроїв. Форма вихідної напруги ТТПН і пов'язані з нею характеристики залежать від алгоритму керування тиристорами, інакше кажучи, від способів регулювання змінної напруги. У теперішній час поширені такі різновиди імпульсного регулювання: 1) за співвідношенням фаз і кутів регулювання (широко-імпульсне, частотно-імпульсне, кодо-імпульсне, лінійно-фазове); 2) за частотою регулювання (низькочастотне, високочастотне, фазове); 3) за глибиною регулювання (безтрансформаторне, трансформаторне вузько- і широкодіапазонне). Щоб ТТПН задовольняли вимоги сучасних електроспоживачів необхідне постійне вдосконалення існуючих і розробка принципово нових методів їхнього регулювання. Наразі найбільш перспективним видається векторне регулювання, за якого виконується геометричне підсумовування змінних напруг, отриманих від різних джерел електроенергії. У такому випадку виникає можливість регулювати (стабілізувати) не тільки значення, але й фазу вихідної напруги перетворювача.

**Мета роботи:** дослідити особливості роботи і функціональні можливості трансформаторно-тиристорних перетворювачів напруги з векторним регулюванням у системах електропостачання.

**Матеріал досліджень.** Векторні діаграми на рис.1 ілюструють можливість зміни значення лінійних напруг без зміни їхніх фаз (рис.1,а) і зміни фаз лінійних напруг без зміни їхніх значень (рис.1,б). Можливість незалежної і одночасної зміни обох параметрів напруги реалізована у сучасних перетворювачах з векторним регулюванням (ПВР). Завдяки вказаній властивості ПВР у короткий час набули поширення як регулятори і стабілізатори змінної напруги, фазорегулятори, симетруючі пристрої, компенсатори реактивної потужності, а також перетворювачі частоти. У даній роботі розглянуто особливості функціонування у електромережах ПВР, розроблених фахівцями Інституту електродинаміки НАНУ [1, 2, 3, 4, 5].

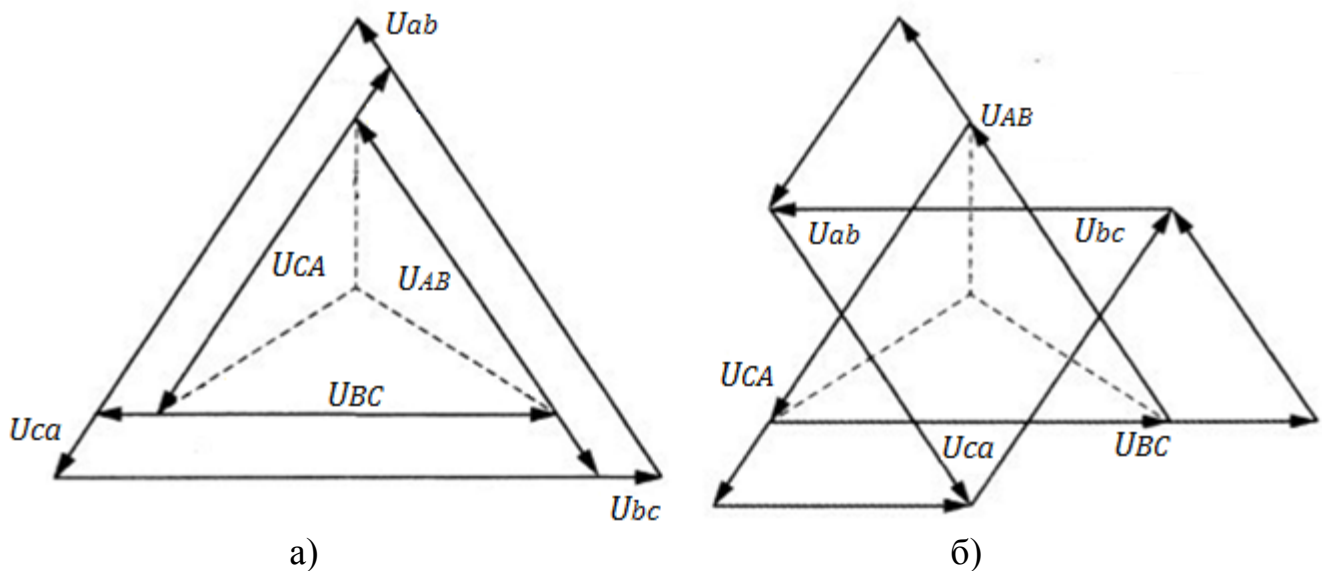


Рисунок 1 – Векторна діаграма лінійних напруг: а) – регулювання величин напруг без зміни фаз; б) – регулювання фаз напруг без зміни величин.

У три- і багатофазних електричних мережах з нульовим проводом урівноваження, симетрування і вирівнювання фазних напруг можна забезпечити шляхом пофазного регулювання за допомогою вольтододатних систем з розділенням регульованої і нерегульованої потужностей [3]. На рис.2 показано електричну схему широкодіапазонного трифазного регулятора-стабілізатора напруги, до складу якого входять : 1) силовий автотрансформатор (АТ), що живиться від основної мережі  $E_1$ ; 2) комутатор регулятора (КР); 3) додаткове джерело  $E_2$  постійної або змінної напруги; 4) комутатор стабілізатора (КС); 5) вихідний фільтр  $\Phi$ ; 6) вольтододатний трансформатор (ВДТ).

Перетворювач, реалізований за цією схемою, сполучає дві різнопланові функції – широкодіапазонне регулювання і точне підтримання вихідної напруги за високої якості. Він має канали грубого і точного регулювання. Грубе регулювання виконується за допомогою КР, який переключає відводи АТ з частотою, кратною частоті мережі. Канал точного регулювання утворюють : КС, що перетворює постійну або змінну напругу в змінну підвищеної частоти ; фільтр  $\Phi$  нижніх частот; ВДТ, який працює на основній частоті. За переключень тиристорів КР у нулі напруги мережі, остання передається на навантаження без спотворень зі швидкістю не гірше одного періоду мережі. Разом з тим, тиристори КС, які переключаються з підвищеною частотою у вузькому діапазоні вихідної напруги, сукупно з фільтром  $\Phi$  вносять мінімальні спотворення. Живлення КС від джерела постійного струму або від іншого незалежного джерела змінної напруги дозволяє регулювати амплітуду та фазу вихідної напруги ВДТ і всього пристрою в цілому.

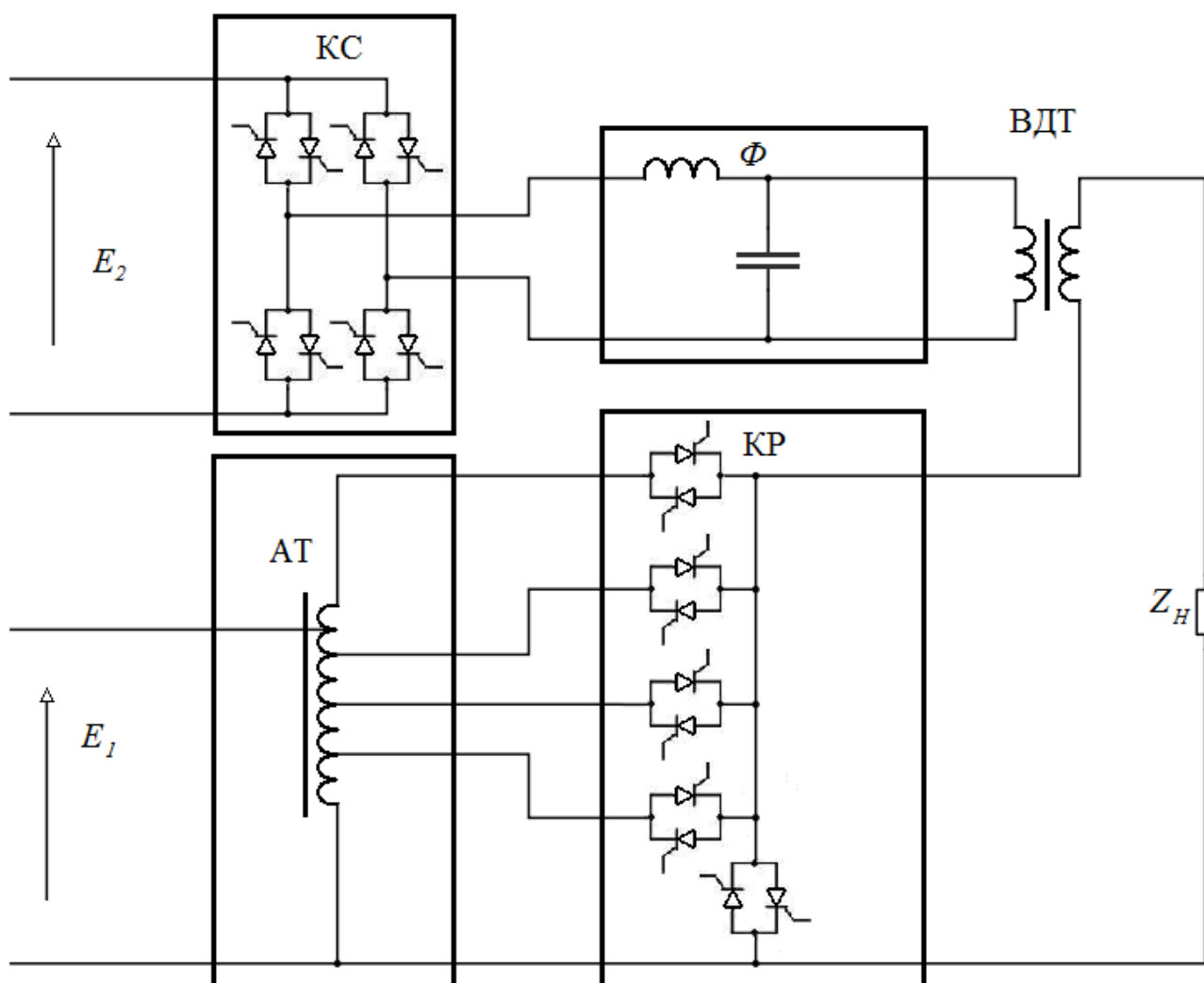


Рисунок 2 – Електрична схема широкодіапазонного трифазного регулятора – стабілізатора напруги

Такий перетворювач може використовуватися також як резервне джерело живлення. В останньому випадку його потужність розраховують не на всю потужність навантаження, а тільки на ту частину, яка потребує надійного і/або безперебійного живлення. Розглянутий трифазний ПВР дозволяє достатньо ефективно регулювати(стабілізувати) рівень напруги окремо в кожній фазі низьковольтної електромережі за різних рівнів споживаної потужності. Однак у випадках нелінійних навантажень такий ПВР стає неефективним, оскільки не може впливати на форму напруги навантаження шляхом покращення гармонічного складу [5].

Для нормалізації параметрів якості електроенергії у чотири провідних системах з нелінійними несиметричними і змінні навантаженнями використовують ПВР, у яких трифазний ВДТ або АТ має дві первинні обмотки, з'єднанні за схемою «зустрічний зигзаг»(рис.3). Вказаному з'єднанню притаманна висока провідність для струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік, тому такі ПВР забезпечують незначне зміщення нейтральної

точки системи напруг і високу пропускну здатність електромережі при нерівномірності фазних навантажень [4].

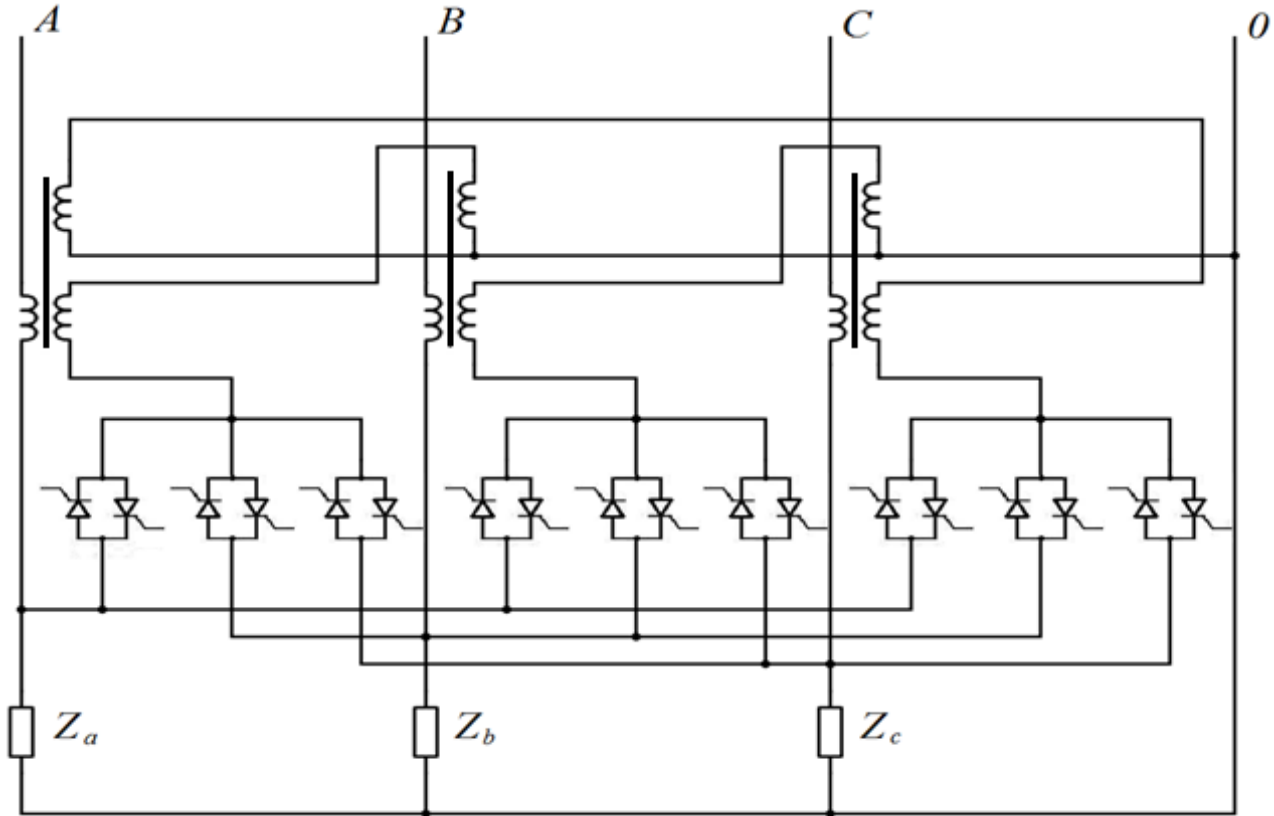


Рисунок 3 – Електрична схема ПВТ з природною комутацією тиристорів

ПВТ, побудований за схемою на рис.3, дає можливість отримати три рівня вихідної напруги за циклічного переключення комутатора з частотою не вище, ніж частота мережі. Комутація тиристорів у ключах ПВТ може бути як природною(рис. 3), так і штучною (рис. 4).

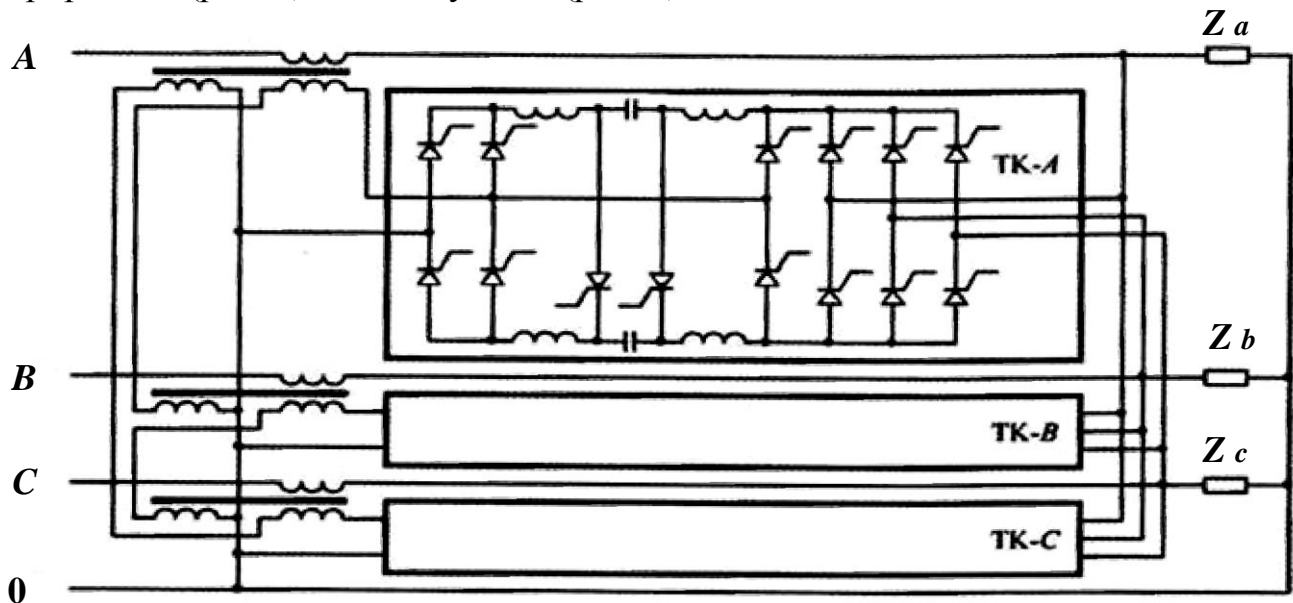


Рисунок 4 – Спрощена електрична схема ПВТ зі штучною комутацією тиристорів

Вузли штучної комутації забезпечують надійне переключення обмоток у будь-який момент часу без ризику міжфазного короткого замикання і дросельного ефекту ВДТ.

Якщо за умовами експлуатації споживачі не використовують нульовий провід, то задача симетрування трифазних і багатофазних мереж дещо ускладнюється. На рис.5 показано спрощену електричну схему ПВР, за допомогою якого можна здійснювати регулювання і симетрування лінійних напруг трифазної системи без нульового проводу. Перетворювач складається з однакових вольтододатних регуляторів з ланками підвищеної частоти в обох обмотках ВДТ(перетворювач-модулятор *M* і перетворювач-демодулятор *D*); на одну фазу мережі у ПВР має бути по два таких регулятора. Кожна пара регуляторів змінює величину і напрям векторів напруги шляхом геометричного підсумування регульованих широтно-імпульсним способом лінійних напруг мережі відносно спільної фази. У результаті на виході ПВР отримуємо систему трифазних (у загальному випадку багатофазних) лінійних напруг, які регулюються (симетруються) за величиною і фазою.

Перетворювачі з векторними керуванням можна реалізувати з ВДТ як на підвищених, так і на основній частотах.

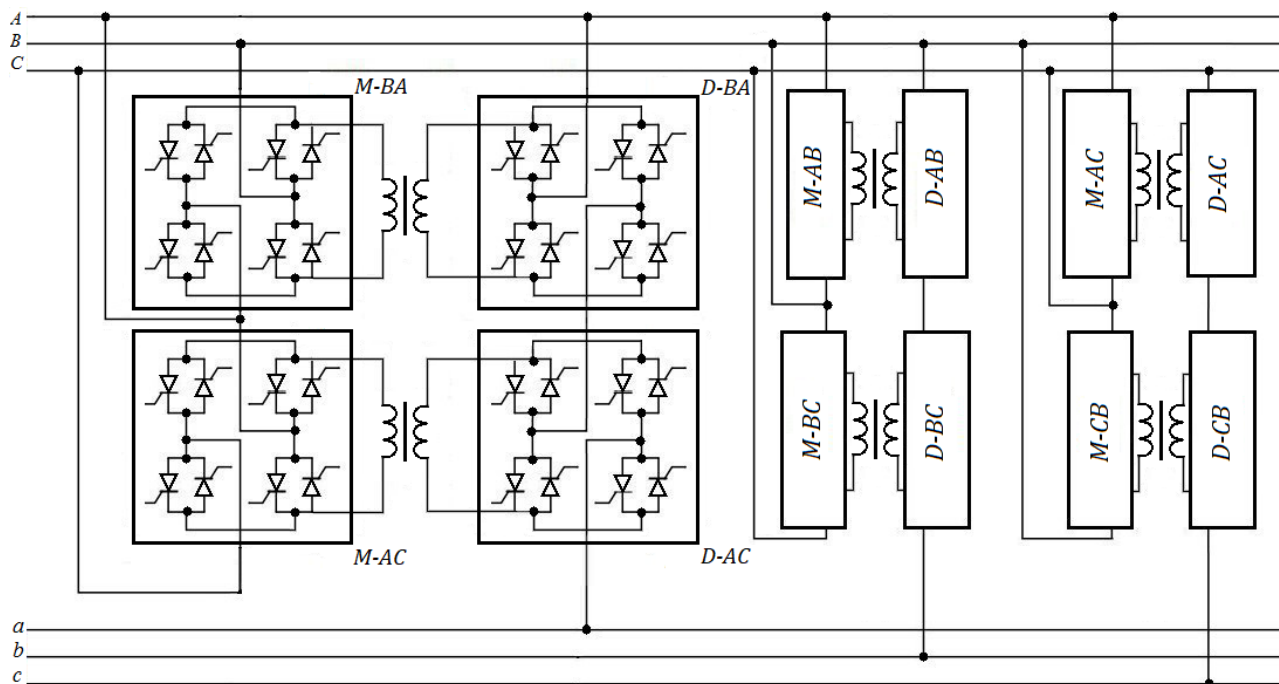


Рисунок 5 – Спрощена електрична схема ПВР з ВДТ підвищеної частоти

На рис. 6, а показано електричну схему однієї фази ПВР з двома комплектами вольтододатних реверсивних регуляторів, які працюють на основній частоті. До первинної обмотки кожного ВДТ підключають фільтри, розраховані на потужність вольтододатку.

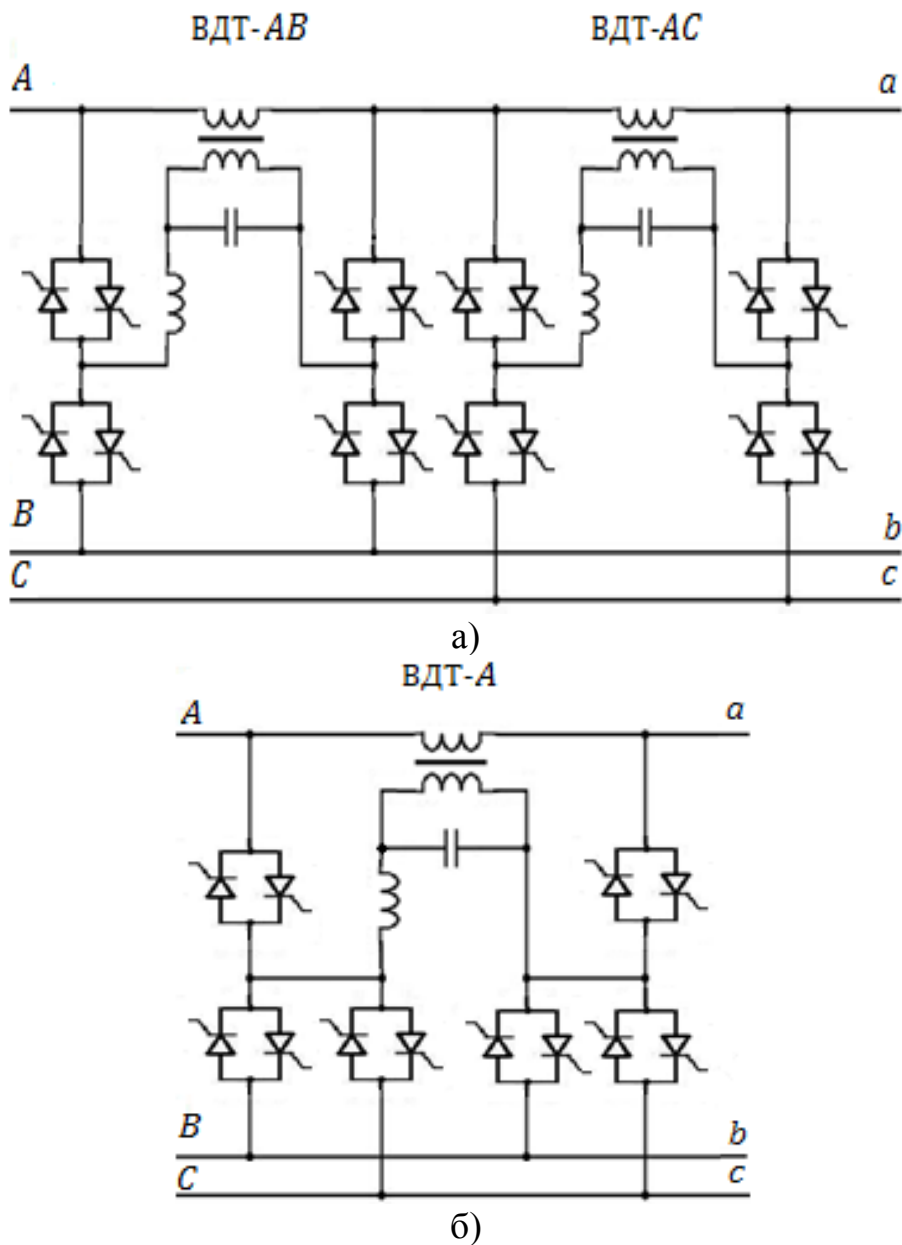


Рисунок 6 – Електрична схема однієї фази ПВР з ВДТ основної частоти:  
 а) з відокремленими фільтром і вузлом комутації; б) зі сполученими фільтром і вузлом комутації.

Суттєво спростити структуру і зменшити встановлену потужність перетворювача можна шляхом сполучення фільтрів і вузлів комутації в одному регуляторі (рис. 6, б). У такому ПВР нижні тиристорні ключі працюють у будь-якому порядку, але по чергово. Це обмеження не заважає підсумовувати на первинній обмотці ВДТ обидві лінійні напруги в різній пропорції за значенням і з різними напрямками векторів. Таким чином, на виході ВДТ отримуємо вектор напруги, що регулюється за величиною і напрямом, а на виході ПВР-задану трифазну (багатофазну) систему лінійних напруг у кожній момент часу.

**Висновки.** Векторне регулювання суттєво розширює функціональні можливості перетворювачів змінної напруги і підвищує ефективність їх роботи в електричних мережах. Перетворювачі з векторним регулюванням реалізують на основі відомих і нових розробок силових трансформаторно-тиристорних структур з широким спектром конструктивних особливостей: з безпосереднім зв'язком; з проміжною ланкою постійного або змінного струму підвищеної частоти ; з одним або декількома додатковими джерелами постійної або змінної напруги тощо. Зважаючи на викладене, при виборі перетворювача напруги для роботи у заданих умовах слід насамперед розглянути можливість використання перетворювального пристрою з векторним керуванням.

#### **Перелік посилань**

1. Голубев В.В. Импульсное преобразование переменного напряжения - Киев: Наук.думка, 2016-245 с.
2. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения – Киев:Наук.думка, 1993-216 с.
3. Новский В.А., Голубев В.В. Быстродействующее уравнивание трехфазной, четырехпроводной системы с помощью трансформаторно-ключевых преобразователей //Техн.електродинаміка. Тем.вип. „Силова електроніка та енергоефективність”.-2007.-43 с.
4. Шидловський А.К., Новський В.А. Стабілізація параметрів електричної енергії у розподільних мережах.-Київ:Наук.думка,2013.-313 с.
5. Голубев В.В., Липковский К.А. Новський В.А. Стабилизация напряжения в электрических сетях при изменении сопротивлений линии и нагрузки //Пр.Ин-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук пр.Енергоефективність. Київ:ІЕД НАНУ,2005.-с.25-25