

ДИСКУСІЇ

УДК 621.318

Р.А. Пеленський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної та загальної електротехніки

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ У ВЕНТИЛЬНИХ КОЛАХ

© Пеленський Р.А., 2003

Досліджено електромагнітні процеси у вентильних колах. Розглянуто основні принципи взаємодії швидкодійних перемикачів з потужними накопичувачами енергії магнітного поля. Виявлено нові підходи до розрахунку комплексуючих пристроїв для вентильних схем.

The electromagnetic processes in the rectifying circuits have been studied. Major principles of the interaction of instant switching jumpers with powerful energy reactors of the magnetic field have been considered. Approaches to the calculation of compensatory devices for valve circuits have been found.

Проблема широкого впровадження в енергетиці та електроприводі вентильних пристроїв перетворення енергії є надзвичайно актуальною. Вона вирішує питання зменшення ваги обладнання, зменшення витрат кольорових металів. Підвищує надійність роботи енергосистем та створює набагато ширші можливості в галузі керування перетворенням та пересиланням енергії.

Розв'язання задач дослідження процесів у вентильних колах проводиться вже тривалий час [1–7], але багато проблем залишаються невирішеними, результати багатьох досліджень є суперечливими. Особливо це стосується питань компенсації реактивної потужності, питань захисту енергосистем від вищих гармонік, генераторами яких є вентильні елементи, питань взаємодії випростувачів з потужними реакторами – накопичувачами енергії магнітного поля.

Метою роботи є дослідження електромагнітних процесів у вентильних колах, розрахунок реактивної потужності цих кіл та розроблення методики її компенсації, дослідження впливу генерованих випрямними пристроями вищих гармонік на енергосередовище для вироблення підходів до підвищення якості енергії. Ставиться задача використання надшвидкодійної перетворювальної техніки, за допомогою якої можна добиватись створення енергосистем з покращеними перехідними характеристиками.

Особливо перспективною елементною базою для систем керування потоками енергії та її перетворення є виконані за інтегральною технологією метал-окисел-напівпровідникові (МОН) випрямні пристрої, які містять сотні тисяч паралельно сполучених МОН-транзисторів, що працюють у ключовому режимі. Основні переваги таких пристроїв полягають у надвисокій швидкодії (час переключень становить 1–10 наносекунд) та зниклому малому внутрішньому споживанні електроенергії і як наслідок малому рівню тепловиділень. При застосуванні розроблених на цій основі випрямних схем навіть у таких складних об'єктах-забруднювачах енергосередовища, як сталетопні печі вдається суттєво покращити якість

енергії. Завдяки надвисокій швидкодії елементів можна застосовувати методи, які усувають вільну складову перехідного процесу. Тоді навіть при десяти тисячах комутацій дугоплавильного електропристрою на рік, вплив на якість електроенергії серйозно зменшується.

Аналіз електромагнітних і теплових процесів у вентильних колах доцільно розпочати з найпростіших прикладів випрямних схем. У схемі однопівперіодного випрямлення (рис. 1, а) при прикладенні до схеми напруги

$$U = U_m \cos \omega t \quad (1)$$

струм та напруга на вентилі, розкладені в ряд Фур'є, становлять

$$i = \frac{2U_m}{\pi R} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \frac{1}{35} \cos 6\omega t - \dots \right); \quad (2)$$

$$U_d = \frac{2U_m}{\pi R} \left(-\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 2\omega t + \frac{1}{15} \cos 4\omega t - \frac{1}{35} \cos 6\omega t + \dots \right). \quad (3)$$

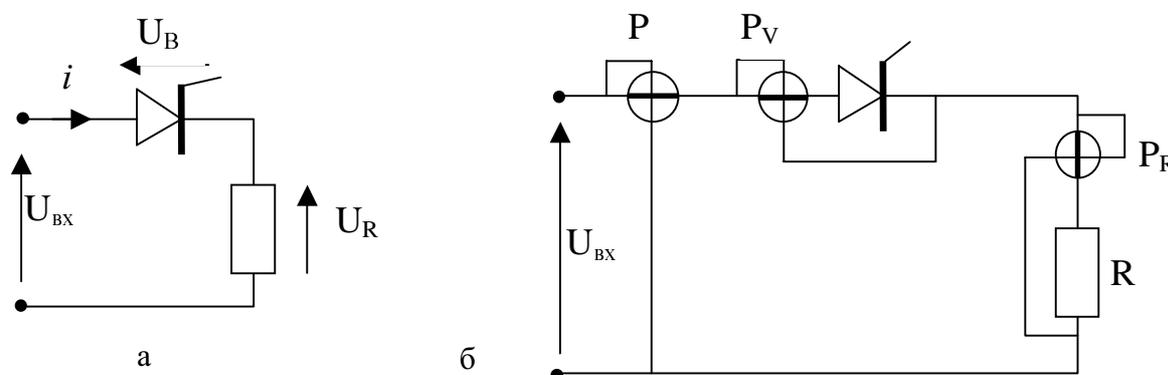


Рис. 1. Схема однопівперіодного випрямлення (а) і вимірювальна схема

Активна потужність, що витрачається на нагрівання вентиля, приймає практично нульове значення.

Вимірювання потужностей вентильного кола здійснені згідно з вимірювальною схемою, показаною на рис. 1, б, підтверджують теоретичні висліди.

При застосуванні керованого МОН-вентиля з кутом запалювання $\alpha=90^0$ розподіл напруг та струму в колі набуває вигляду, зображеному на рис. 2.

У схемі однопівперіодного випрямлення з напівпровідниковим діодом реактивна потужність відсутня. На діоді є лише потужність переключень. Вона дорівнює активній потужності, що виділяється в резистивному навантаженні. Повні потужності ідеального діода і резистора мають однакові значення. У випадку схеми однопівперіодного випрямлення з керованим вентилям через зсув фази першої гармоніки струму відносно прикладеної до кола напруги в колі є реактивна потужність. Її можна скомпенсувати за допомогою батареї конденсаторів. Потужність переключень компенсуванню за допомогою ємнісного елемента не піддається. Для покращення якості енергії потрібно створювати спеціальні електронні пристрої, які б усували найбільші за значенням вищі гармоніки.

В енергетичних мережах основні навантаження переважно мають активно-індуктивний характер. Робота індуктивного елемента-накопичувача енергії магнітного поля послідовно з вентилям спряжена з труднощами. Ідеальний вентиль має зворотній опір, що прямує до нескінченності. У момент переходу вентиля з відкритого стану в

закритий струм в індуктивності має максимальне значення. Згідно з першим законом комутації в момент переключення цей струм не може змінитися стрибком. Тому на вентилі спостерігається різке підвищення напруги U_B (рис. 3). Для того, щоб виконувався другий закон комутації, самий стрибок напруги U_B , але зі зворотним знаком мусить бути на індуктивності. (рис. 3). Тобто, схема послідовного сполучення ідеальних вентиля та індуктивності є некоректною, побічними наслідками тут є пробій вентиля або пробій ізоляції котушки. Якщо врахувати резистивний опір котушки, наприклад, у випадку аналізу процесів живлення обмотки збудження потужного синхронного генератора від однопівперіодного випрямляча, ті самі проблеми залишаються.

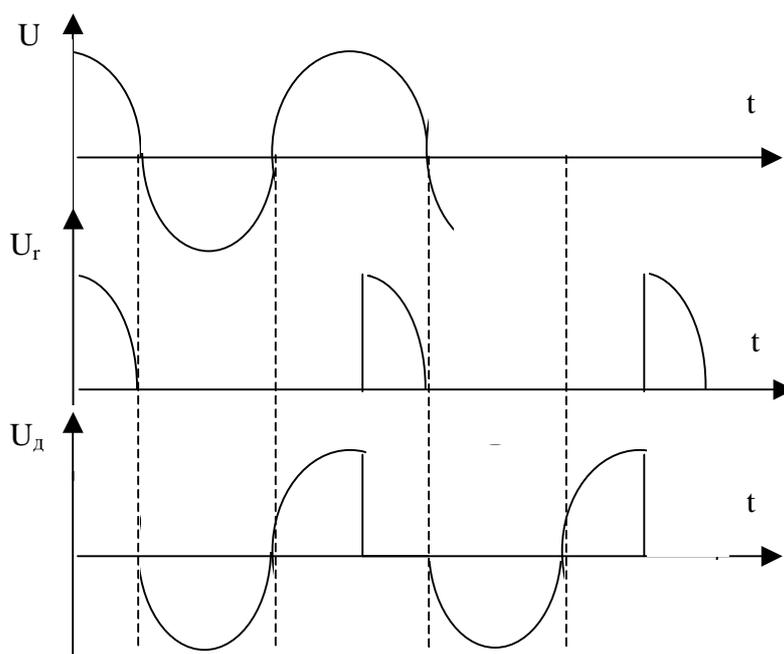


Рис. 2. Часові графіки напруг та струму кола керованого випрямлення з кутом запалювання $\alpha = 90^\circ$

Якщо вентиляна однопівперіодна схема живить паралельно сполучені реальну індуктивність і опір, електромагнітні процеси в колі відбуваються без особливостей, паралельний резистор гасить накопичену енергію. Цікаві дослідження роботи тиристорів з накопичувачами енергії магнітного поля проведені О.Кекотом, одна з досліджуваних ним схем описана в літературі [8].

У діодних схемах двопівперіодного випрямлення з резистивним навантаженням струм у навантаженні не містить основної гармоніки. У таких схемах відсутня реактивна потужність. Це саме стосується схем трифазного випрямлення на діодах. Але, якщо замість діодів стоять керовані вентиля з кутом запалювання, більшим від нуля, реактивна потужність у схемі з'являється. Її можна скомпенсувати за допомогою конденсаторів. В американській літературі прийнято вважати генератором реактивної потужності компенсуючий пристрій – конденсатор, а реактор (r, L) – це споживач реактивної потужності.

У схемах двофазного, трифазного та шестифазного випрямлення з активно-індуктивним навантаженням зсув по фазі між вхідними напругою та струмом мостової схеми, наприклад, зумовлений реактивним опором котушки на першій гармоніці та активним опором наванта-

ження. Реактивна складова першої гармоніки цього вхідного струму повинна бути скомпенсована ємнісним струмом, як це й пропонував С.Фризе. З тих часів нічого не змінилося.

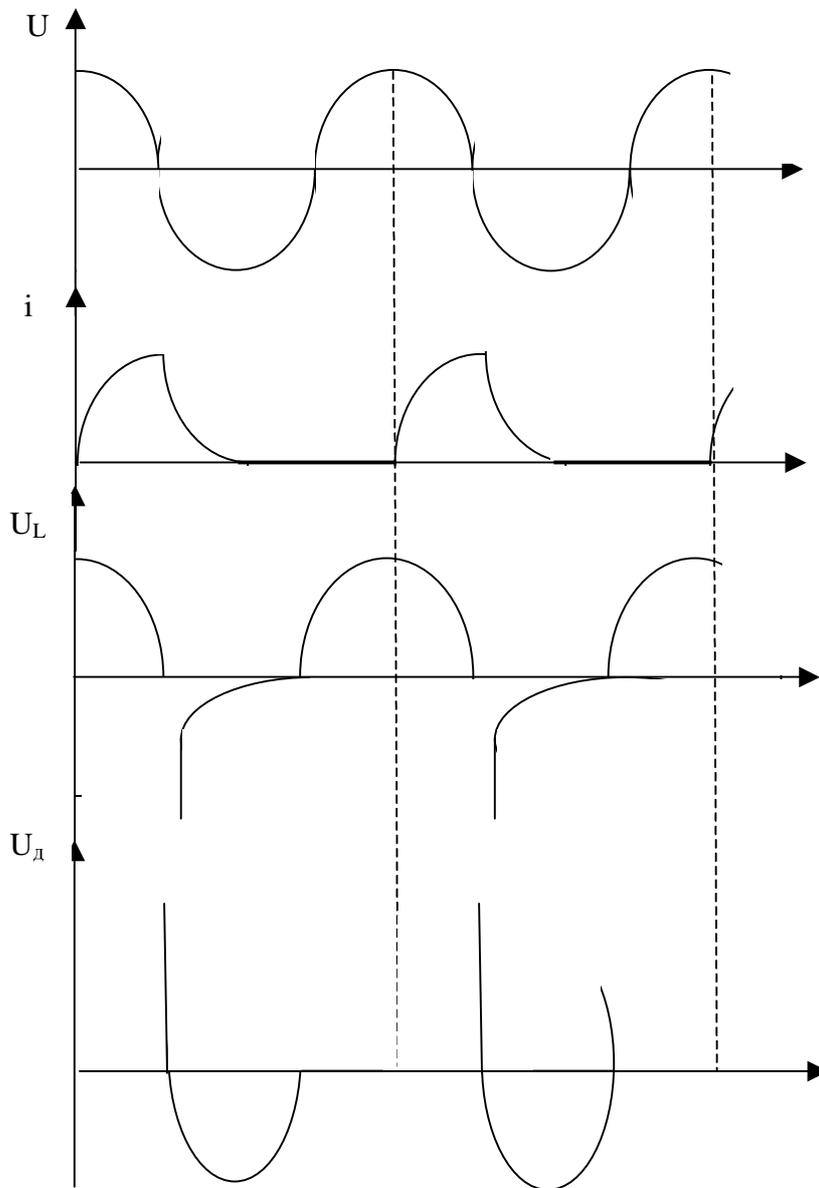


Рис. 3. Часові залежності напруг та струмів у схемі послідовно сполучених вентиля та індуктивності

Конденсатор не має властивостей компенсувати потужності переключень. У цьому дуже просто переконатись експериментально. Найелементарніший дослід зі знаходження мінімального значення вхідного струму для схеми напівпровідниковий діод-резистор зразу ж проясняє значення ємнісних елементів в компенсації потужності переключень – вони її не компенсують.

Сучасні вимоги до якості енергії в енергосистемах вимагають створення комп'ютерних систем динамічної компенсації, як керуючої ланки під час компенсування. Елементами, які беруть на себе функцію безпосереднього компенсування повинні бути електронні пристрої, які генерують другу і вищі гармоніки з фазою, зсунутою на 180° відносно фази цих гармонік у пристроях випрямлення струму. Компенсування першої гармоніки здійснюється за допомогою батарей конденсаторів.

Схема керуваного за допомогою МОН-ключів генератора реактивної потужності показана на рис. 4.

Цей пристрій повинен змінювати значення генерованої ним реактивної потужності відповідно зі змінами навантаження. Для цього з систем керування на заслони транзисторів, що працюють у ключовому режимі, подаються сигнали.

У випадку нелінійних навантажень, особливо, якщо це такі складні нелінійні об'єкти, як дуга сталетопних печей, значної компенсації реактивної потужності можна досягти за допомогою батарей конденсаторів. Але спочатку цю реактивну потужність потрібно розрахувати і використати її значення для розрахунку ємностей. Електродугові сталетопні печі дуже негативно впливають на якість енергії в електричній системі. Насамперед це зумовлено дуже частими комутаціями, наприклад, такий об'єкт може характеризуватись ста тисячами включень і виключень за рік. Надшвидкодійна елементна база перетворювальної техніки (МОН або комбінована біполярна-МОН-база) практично дозволяє усувати вільну складову перехідного процесу завдяки можливостям вибору початкової фази напруги живлення для моменту комутації. Метод відомий як метод Ейпріла-Тріка. Подальшу компенсацію впливу вищих гармонік на якість енергії потрібно здійснювати на основі динамічних компенсаторів або з застосуванням активних фільтрів, налаштованих на частоту вищої гармоніки, яка підлягає компенсації.

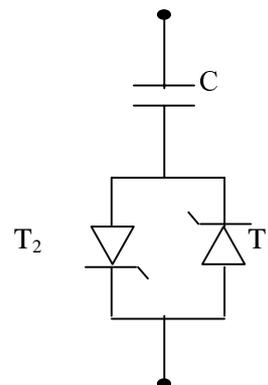


Рис. 4. Схема МОН-регульованого компенсатора реактивної потужності

Висновки

При активно-індуктивних навантаженнях і при використанні випрямних пристроїв на керуваннях елементах (тиристри, МОН-випростувачі) компенсація реактивної потужності здійснюється за допомогою батарей конденсаторів. Розрахунок компенсуючих пристроїв у випадку живлення об'єкта від джерела синусоїдної напруги достатньо здійснювати для основної гармоніки, компенсуючи реактивну складову струму. Для зменшення впливу випрямних перетворювачів енергії на якість енергії рекомендується використання надшвидкодійної елементної бази, яка дозволяє добиватись оптимального перехідного процесу при комутаціях. Надшвидкодійна елементна база створює можливості для компенсування реактивної потужності відповідно до змін навантаження.

1. Жемеров Г.Г., Крылов Д.С. Гармоники в сетевом токе компенсированного управляемого выпрямителя // *Технічна електродинаміка*. – К., 2001. – № 6. 2. Шидловская Н.А. Высшие гармоники в электрических цепях синусоидного тока с нелинейными активной нагрузкой и индуктивностью // *Техническая электродинамика*. – К., 1994. – № 5–6. 3. Демирчян К.С. Реактивная или обменная мощность? // *Изв. АН СССР Энергетика и транспорт*. – 1984. – № 2. 4. Мавевский О.А. Энергетические показатели вентиляционных преобразователей. – М., 1978. 5. Беркович Е.И. К определению понятия мощности в нелинейных цепях // *Электричество*. – 1989. – № 1. 6. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Реактивная мощность в задачах энергетики // *Электричество*. – 1987. – № 2. 7. Тонкаль В.Е., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Компенсация неактивных составляющих полной мощности в цепях несинусоидального тока и напряжения // *Техническая электродинамика*. – 1989. – № 5. 8. Иванов-Смоленский А.В. *Электрические машины*. – М., 1980.