

УДК 621.314

АНАЛІЗ БАГАТОРІВНЕВИХ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ З СИНУСОЇДНОЮ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

В.В. Василенко, докт. техн. наук, проф., **В. М. Комаров**, аспірант*,
А.Е. Гречко, бакалавр
*Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

Проведено аналіз інформаційних матеріалів у галузі розробки силових автономних інверторів напруги. Визначено найбільш раціональну схему силового інвертора напруги для автономних об'єктів сільського господарства. Розроблено рекомендації щодо можливості застосування багаторівневих інверторів напруги в системах передачі електроенергії по одному проводу.

Ключові слова: багаторівневі інвертори, синусоїдна порівнева широтно-імпульсна модуляція, обмежуючі діоди

Проблема. Перспективи подальшого вдосконалення електрифікації сільського господарства характеризуються застосуванням нетрадиційних систем електропостачання з використанням вітроелектричних та фотоелектричних джерел живлення, що потребують перетворення постійного струму в синусоїдний змінний струм за допомогою автономних інверторів напруги. Це стосується, перш за все, віддалених від централізованих мереж електропостачання автономних фермерських господарств і малих підприємств, які споживають електроенергію потужністю 15...20 кВт. Автономні інвертори напруги потрібні також для перспективних систем передачі електроенергії по одному проводу та резервних джерел живлення сільськогосподарських об'єктів вказаної потужності. В зв'язку з цим проблема розробки і вибору інверторів напруги набула значної актуальності.

Мета досліджень. Аналіз інформаційних матеріалів щодо розробки і використання автономних інверторів напруги з метою вибору найбільш раціональних технічних рішень для створення автономних інверторів напруги для системи передачі електроенергії по одному

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В. Василенко.

© В.В. Василенко, В. М. Комаров, А.Е.Гречко.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

проводу та нетрадиційних систем електропостачання сільськогосподарських об'єктів.

Матеріали та методика досліджень. Результати аналізу і вибору схемотехнічних рішень в інтересах створення силових напівпровідникових інверторів напруги для нетрадиційних систем електропостачання та систем передачі електроенергії по одному проводу.

Результати досліджень. Як показав проведений аналіз інформаційних матеріалів для досягнення поставленої мети найбільш доцільно взяти за основу автономні інвертори напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)[1,2]. Перевагою АІН цього типу є можливість використання порівняно простої силовій схемі інвертора (мостову або напівмостову) та застосування синусоїдної модуляції, яка реалізується на спеціалізованих схемах з великим рівнем інтеграції.

Аналіз інверторів, які перетворюють напругу постійного струму в напругу синусоїдного змінного струму промислової частоти, свідчить, що найбільш ефективним способом забезпечення якості синусоїдних кривих вихідної напруги є застосування амплітудно-імпульсної модуляції(АІМ). При цьому застосування АІМ є особливо доцільним при побудові інверторів на значні потужності і високі напруги та при необхідності поліпшення якості вихідної напруги. Основними напрямками схемної реалізації інверторів з АІМ є наступні технічні рішення.

1.Складові інвертори, які містять «n» вихідних однофазних або трифазних найпростіших інверторів з живленням від одного джерела живлення, що формують вихідну систему напруг з подальшим геометричним підсумовуванням цих напруг за допомогою блока трансформаторів [1,2];

2.Багаторівневі інвертори напруги, які формують ступінчасті напруги за рахунок використання декількох джерел живлення (ізольованих, або секціонованих) без підсумовуючих трансформаторів, що знімає обмеження частотного регулювання. Як показує світовий досвід більш доцільним рішенням є саме багаторівневі інвертори напруги, які реалізуються схемами з обмежувальними діодами, або схемами з послідовно з'єднаними ізольованими мостами [3,4].

Приймаючи за основу вибору найбільш раціонального варіанта технічного рішення багаторівневих інверторів напруги, доцільно виконати порівняльний аналіз їх можливих схемних рішень та отриманих залежностей вихідної напруги синусоїдного змінного струму від часу при синусоїдній порівневій широтно-імпульсній модуляції. Для

подальшого аналізу та порівняння спочатку розглянемо однофазний напівмостовий інвертор [1,2], схема якого наведена на рис.1 а. Інвертор зібраний на двох силових транзисторах VT1, VT2, кожен з яких шунтується зворотними діодами, і двох конденсаторах C1, C2, що створюють нульовий затиск джерела живлення, беручи до уваги, що $U_{dc1} = U_{dc2} = U_{dc} / 2$.

У верхній частині рис.1 б наведені трикутний модуляційний ($f_{mod} = 1200\text{Гц}$) і синусоїдний модулюючий частотою $f_s = 50\text{Гц}$ сигнали управління, а в нижній частині рис.1 б вихідна напруга інвертора, $u_L(t)$, і струм навантаження, $i_L(t)$. Напруга на навантаженні інвертора являє собою послідовність двополярних імпульсів напруги, модульованих за синусоїдним законом, тоді як струм навантаження є практично синусоїдним. З рис.1 видно, що частота синусоїдного сигналу $f_s = 50\text{Гц}$ визначає вихідну частоту інвертора.

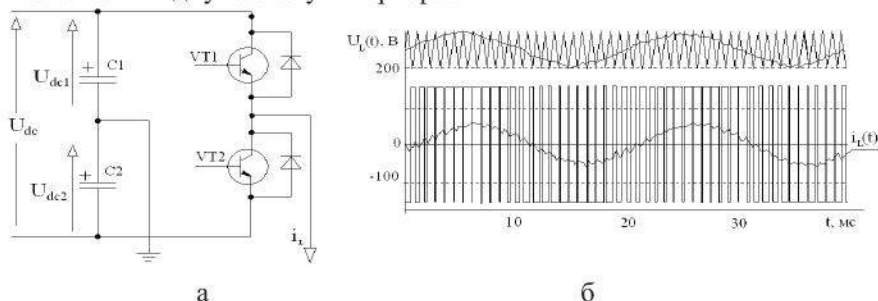


Рис. 1. Принципова схема однофазного напівмостового інвертора та його вихідні характеристики

Аналізуючи багаторівневі однофазні інвертори з обмежувальними діодами, розглянемо найбільш простий трирівневий інвертор з обмежувальними діодами, схема якого наведена на рис.2 а. Як видно з рис. 2 а в якості подільника напруги джерела живлення використовуються два конденсатори, створюючі нульову точку джерела живлення.

Транзисторне плече інвертора побудовано на чотирьох силових транзисторах VT1-VT4, що шунтуються зворотними діодами, і двох обмежувальних діодах VD1, VD2, приєднаних загальною точкою до нульового затискача джерела живлення.

Процес синусоїдної модуляції кривих вихідної напруги інвертора (рис. 2, б) реалізується порівнянням на двох компараторах синусоїдного модульованого сигналу, для прикладу, вибраного з частотою $f_s = 50\text{Гц}$, та двома трикутними сигналами несучої частоти, вибраними

для прикладу з частотою $f_{mod} = 1200\text{Гц}$. Кожен з компараторів управляє двома транзисторами в протифазі (одним з верхнього плеча, а іншим з нижнього плеча інвертора). Як прийнято $f_{mod} / f_s = f_{mod}^* = 1200/50 = 24 f_{mod}$ називають відносною частотою модуляції. Напруга $u_L(t)$ на навантаженні, включену між вихідним зажимом транзисторного плеча інвертора і нульовим затискачем джерела живлення, представляє собою трирівневу криву, а саме, як видно з рис. 2, послідовність однополярних імпульсів для позитивної та негативної напівхвиль напруги. На рис. 2 наведена також крива напруги на транзисторі $u_1(t)$. Як випливає з даної кривої, величина напруги на транзисторі коливається в межах половини величини напруги джерела живлення $U_{dc}/2$.

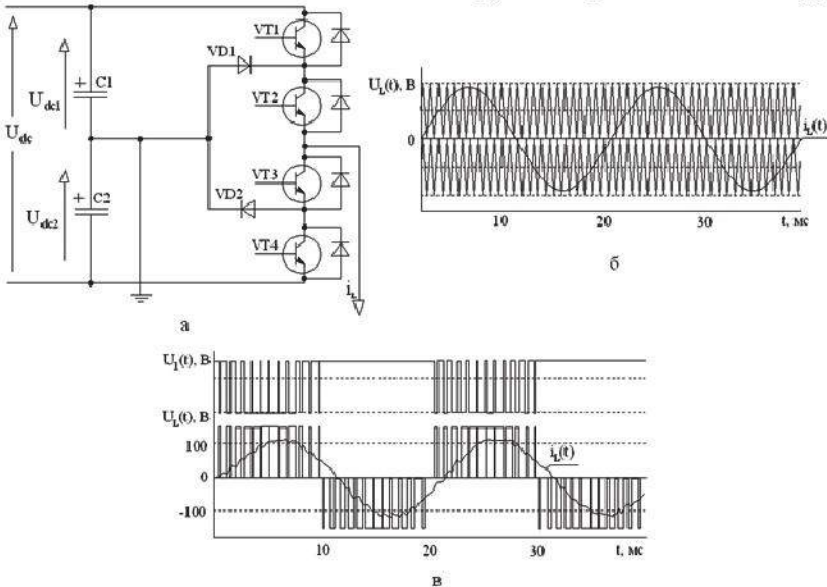


Рис. 2. Принципова схема трирівневого інвертора та його вихідні характеристики

Аналіз схемного рішення і принципу роботи п'ятирівневого інвертора з більш підвищеним числом рівнів вихідної напруги (рис.3) показав, що секціоноване джерело живлення представлене подільником напруги, що складається з чотирьох включених послідовно конденсаторів, на кожному з яких встановиться напруга $U_{dc}/4$. У результаті створюється відносно нульового затискача два позитивних і негативних рівня напруги $+U_{dc}/4$, $+U_{dc}/2$. Силове плече інвертора складається

з восьми верхніх VT1-VT4 і нижніх VT5-VT8 транзисторів, що шунтуються зворотними діодами, і трьох пар обмежувальних діодів.

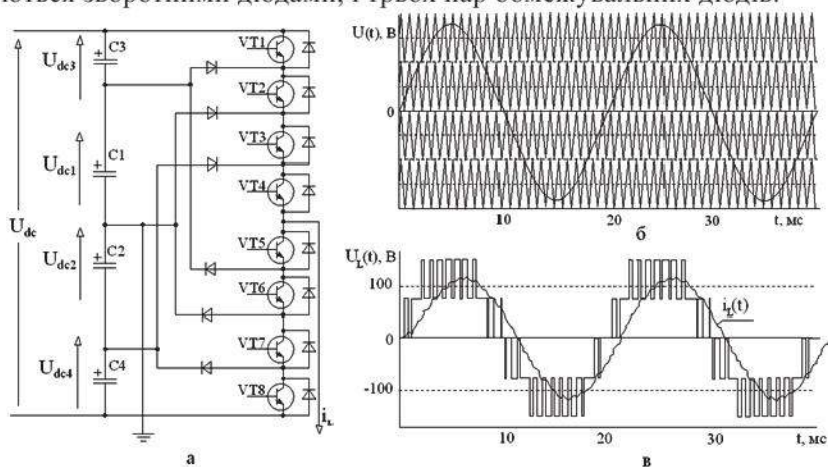


Рис. 3. Принципова схема п'яти рівневого інвертора та його вихідні характеристики

З рисунка видно, що синусоїдна модуляція реалізується порівнянням на компараторах синусоїдного сигналу частотою $f_s = 50\text{Гц}$ з чотирма трикутними сигналами несучої частоти $f_{\text{mod}} = 1200\text{Гц}$, як показано на рис.3. Кожен з компараторів управляє в протифазі двома транзисторами (одним з верхнього плеча, а іншим з нижнього плеча інвертора). Напруга на навантаженні, включеному між вихідним зажимом плеча інвертора і нульовим затискачем джерела живлення, являє собою п'ятирівневу одно ступінчасту криву напруги (див.рис.3), зі збільшенням числа рівнів в АІН, завдяки чому знижується максимально можлива робоча напруга на транзисторах. Для порівняння в трирівневному інверторі транзистори працюють при напрузі $U_{\text{dc}}/2$, а в п'ятирівневному АІН - при напрузі $U_{\text{dc}}/4$. Одним важливим питанням при цьому є підтримка незмінної напруги на конденсаторах. Нестабільність напруги на конденсаторах виникає внаслідок неоднакового часу їх розряду і заряду за період вихідної напруги інвертора. Однак це питання виходить за рамки цього дослідження багаторівневих АІН.

У загальному випадку у s -рівневному АІН, в якому величина s приймає значення $s = 3, 5, 7, \dots$, сумарну величину включених послідовно джерел живлення приймаємо рівною U_{dc} , тоді величина кожного з рівнів джерела живлення буде дорівнювати $U_{\text{dc}}/(s-1)$. Якщо для ство-

рення секціонованого джерела живлення використовуються конденсатори, то число конденсаторів, які використовуються для побудови подільника напруги, буде дорівнювати $(s - 1)$. Відповідно, максимально можлива робоча напруга на транзисторах в s - рівневному АІН буде рівним $U_{dc}/(s - 1)$, тобто зменшується із зростанням числа рівнів вихідної напруги інверторів з обмежувачими діодами.

З представлених на рис.2 і рис.3 сигналів управління три- і п'ятирівневих АІН, слід відзначити, що регулюючи амплітуду і частоту синусоїдного сигналу, можна реалізовувати незалежне регулювання величин вихідної напруги і частоти інвертора.

В процесі аналізу на основі програмного пакета Tcad6.2 проведено ряд комп'ютерних моделювань дво-, три- і п'ятирівневих АІН у функції глибини модуляції m_A при наступних параметрах: величина напруги живлення інвертора $U_{dc} = 300V$, відносна частота модуляції $f_{mod}^* = 24$ та RL-навантаження (при $f = 50Gц$, $S = 20kVA$, $\cos \varphi = 0,906$). Коефіцієнт глибини модуляції m_A в двох, трьох і п'яти рівневих АІН визначається як відношення амплітуди синусоїдного модульованого сигналу до сумарної амплітуди трикутного модуляційного сигналу в колах управління АІН. Моделювання показало суттєве поліпшення їх гармонічних спектрів при зростанні числа рівнів.

Таким чином, при розробці або виборі інвертора напруги для систем передачі електроенергії по одному проводу доцільно застосовувати багаторівневу схему АІН, розраховану на відповідну потужність сільськогосподарського об'єкта при напрузі 220В і частоті 50Гц

Висновки

Аналіз інформаційних матеріалів у галузі інверторів напруги показав, що найбільш доцільним для нетрадиційних систем електропостачання та систем передачі електроенергії по одному проводу для автономних об'єктів сільського господарства є розробка або вибір багаторівневих інверторів напруги з широтно-імпульсною модуляцією.

Результати виконаного аналізу схемотехнічних рішень доцільно застосовувати при подальших дослідженнях та розробках автономних інверторів напруги для різноманітних електротехнічних комплексів з резервними джерелами живлення постійного струму.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Зиновьев Г.С.* Основы силовой электроники / Г.С. Зиновьев – Новосибирск: издательство НГТУ, 2003.- 664 с.
2. *Gautam Sinha, Thomas A.Lipo.* „A Four Level Inverter Based Drive

- With a Passive Front End*”, Power Electronics Specialist Conference Institute of Electrical and Electronics Engineers - 2000, pp.285-294.
3. *Yahya Shakweh, Eric A.Lewis. „Assessment Of Medium Voltage PWM VSI Topologies For Multi-Megawatt Variable Speed Drive Applications”*, Power Electronics Specialist Conference Institute of Electrical and Electronics Engineers -1999, pp.965-970.
 4. *Раймонд М. Импульсные источники питания / М. Раймонд – М.: Издательский дом «Додэка-XXI»-2008.-272 с.*

АНАЛИЗ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С СИНУСОИДНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Проведен анализ информационных материалов в области разработки силовых автономных инверторов напряжения. Определено наиболее рациональную схему силового инвертора напряжения для автономных объектов сельского хозяйства. Разработано заключение о возможности применения многоуровневых инверторов напряжения в системах передачи электроэнергии по одному проводу.

Ключевые слова: *многоуровневые инверторы, синусоидная полууровневая широтно-импульсная модуляция, ограничивающие диоды.*

ANALYSIS OF MULTILEVEL INVERTER WITH SINUSOIDAL VOLTAGE PULSE-WIDTH MODULATION

Analysed information of development autonomous power inverter voltage. Determined the most rational scheme of the power voltage inverter for stand-alone objects of agriculture. Designed opinion on the possibility of multi-level inverter voltage transmission system over a single-wire line.

Key words: *multilevel inverters, comparative sinusoidal pulse-width modulation, limiting diodes.*