

УДК 621.326

О. О. Дрючин, к. т. н., доц.; М. Д. Гузь

## КЕРОВАНІ РЕАКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ

*Для узгодження вихідних каскадів радіопередавачів і електроприводів запропоновано використання керованої реактивності, що містить два транзистори протилежного типу провідності, між вхідними й керувальними електродами яких увімкнено по резистору і до керувальних і спільних електродів підімкнено по конденсатору. Уведено третій та четвертий транзистори протилежного типу провідності, чотири діоди і два дроселі.*

**Ключові слова:** керовані реактивності, вихідні каскади, керування потужністю, узгодження кінцевих каскадів.

Перехід до електронних методів керування силовими пристроями, такими як: електропривід, радіопередавальні пристрої – дозволив різко збільшити коефіцієнт корисної дії таких систем, але поставив актуальне завдання забезпечення оптимальних умов передачі потужності до навантаження, тобто узгодження вихідних каскадів підсилювачів потужності та виконавчих елементів. Таке узгодження забезпечується в разі компенсації реактивних складників у вихідних колах. Для реалізації цієї задачі доцільним буде застосування керованої індуктивності та ємності.

Водночас використання традиційних рішень, які застосовують варикапи або реактивні транзистори обмежено технологічними можливостями застосування варикапів на великі реактивні потужності.

Використання зовнішнього джерела живлення є суттєвим недоліком, що обмежує сферу застосування керованих реактивностей на основі реактивних транзисторів [1, 2, 3].

Встановлення потрібного режиму постійного струму транзисторів керованої реактивності вимагає використання додаткових елементів живлення, блокування й фільтрації, що зменшує надійність пристрою. Використання додаткових джерел живлення також знижує енергетичну ефективність пристрою в цілому й обмежує сферу використання таких пристроїв тільки малопотужними вузлами електронних засобів: частотні модулятори, пристрої автопідстроювання частоти і т. п. У засобах силової електроніки потужність джерела живлення керованої реактивності має значно перевищувати потужність її навантаження, що є енергетично неефективним.

Для відмови від зовнішнього джерела запропоновано керовану реактивність мостового типу, схему якої наведена на рис. 1.

Керована реактивність містить два транзистори протилежного типу провідності VT1 і VT2, між вхідними й керувальними електродами яких увімкнено резистори R1 і R2 і до керувальних і спільних електродів приєднано по конденсатору C1 і C2, третій та четвертий транзистори протилежного типу провідності VT3 і VT4, чотири діоди VD1, VD2, VD3 та VD4 і два дроселі L1 і L2. Під час використання керованої реактивності на біполярних транзисторах вихідним електродом є колектор, керувальним – база, спільним – емітер. Під час виконання на польових транзисторах вихідним електродом є стік, керувальним – затвор, спільним – витік.

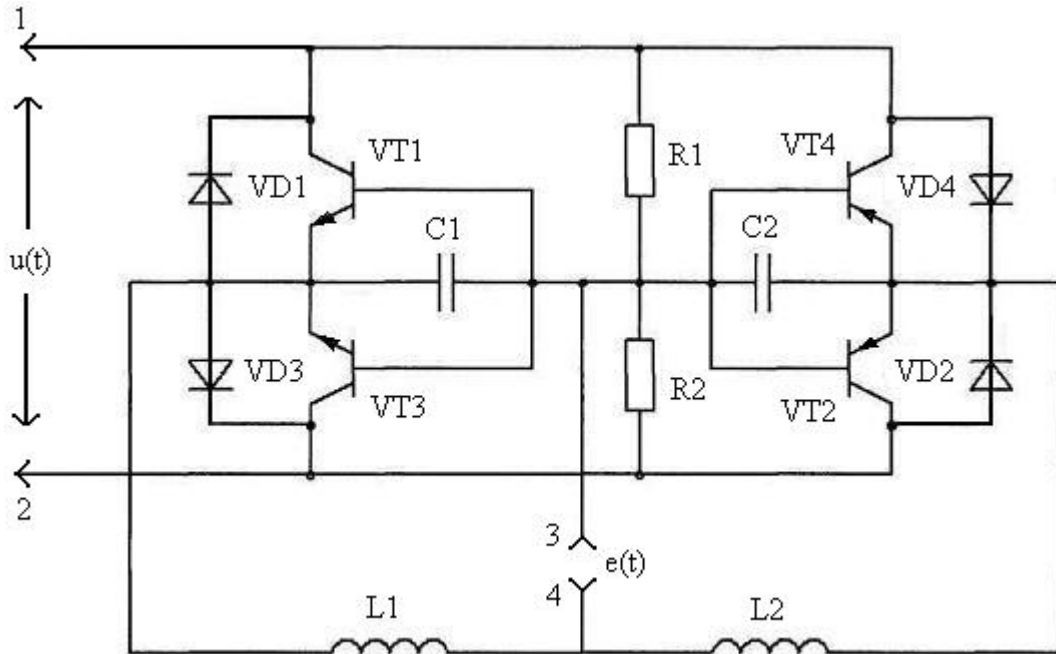


Рис. 1. Електрична схема керованої реактивності

До виходів пристрою 1 і 2 прикладено високочастотну гармонічну напругу, яка може бути подана, наприклад, від автогенератора:

$$u(t) = U_m \cdot \cos \omega t, \quad (1)$$

де  $U_m$  – амплітуда високочастотної гармонічної напруги;  $\omega$  – кутова частота високочастотної гармонічної напруги.

У керованій реактивності забезпечується безперервність струму між виходами 1 і 2 при живленні від джерела сигналу й напруги модуляції:

$$e(t) = E_m \cdot \cos \Omega t, \quad (2)$$

де  $E_m$  – амплітуда напруги модуляції;  $\Omega$  – кутова частота напруги модуляції.

Напруга модуляції забезпечує зміщення потенціалу баз транзисторів VT1, VT2, VT3 і VT4 за будь-якої полярності цих напруг. Можливі стани транзисторів VT1, VT2, VT3 і VT4 і діодів VD1, VD2, VD3 і VD4 залежно від полярності вхідних напруг наведено в таблиці 1 (“1” відповідає відкритому стану елемента, “0” – закритому стану; “+” відповідає додатній полярності напруг, “-” – від’ємній полярності).

Таблиця 1

Стан транзисторів і діодів за різних значень напруг

N	$u_{1,2}$	$e_{3,4}$	VT1	VT2	VT3	VT4	VD1	VD3	VD4	VD2
1	+	+	1	0	0	0	0	1	0	0
2	-	+	0	0	1	0	1	0	0	0
3	+	-	0	1	0	0	0	0	1	0
4	-	-	0	0	0	1	0	0	0	1

Напругу  $u(t)$  прикладене до вихідних електродів транзисторів VT1, VT2, VT3 і VT4.

Номінали резисторів  $R_1$  і  $R_2$  вибрано так, що опір  $R$  кожного з них буде більшим за реактивний опір  $X$  конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$  з ємністю  $C$ :

$$R > X = \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (3)$$

У цьому випадку струм через подільник  $RC$  для кожного транзистора  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_3$  і  $VT_4$  матиме однакову початкову фазу з напругою  $u(t)$ , що прикладена між виводами пристрою 1 і 2. За рахунок реактивного опору конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$  напруга на них запізнюватиметься на кут, близький до  $90^\circ$ ,

$$U_C(t) = k \cdot U_m \cdot \sin \omega t, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі подільника  $RC$  на частоті  $\omega$ .

Коефіцієнт передачі подільника  $RC$  на частоті  $\omega$  визначають такою формулою:

$$k = \frac{X}{\sqrt{X^2 + R^2}}. \quad (5)$$

Завдяки зсуву напруги  $U_C(t)$ , яку подають на вхідні електроди всіх транзисторів  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_3$  і  $VT_4$ , струми вихідних електродів кожного транзистора  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_3$  і  $VT_4$  у відкритому стані також будуть зсунутими на  $90^\circ$  відносно напруги, що прикладена до вихідних електродів:

$$i_{\text{вих}}(t) = S \cdot U_C(t) = S \cdot k \cdot U_m \cdot \sin \omega t, \quad (6)$$

де  $S$  – крутизна передаточної характеристики керованої реактивності, яку можна вважати дійсним числом під час роботи транзисторів на частотах нижче граничної.

Отже, струм  $i_{\text{вих}}(t)$  між виходами пристрою 1 і 2 буде запізнюватися на  $90^\circ$  відносно напруги, що прикладена до тих же виходів. Тобто, за такого схемного розв'язку і прийнятих співвідношень параметрів пристрій еквівалентний індуктивності  $L_e$ . В активному режимі:

$$L_e = \frac{U_m}{I_m \cdot \omega} = \frac{U_m}{S \cdot k \cdot U_m \cdot \omega} = \frac{1}{S \cdot k \cdot \omega}. \quad (7)$$

Зміну значення індуктивності  $L_e$  здійснюють подачею напруги модуляції на входи 3 і 4, яка змінює зміщення на керувальних електродах всіх транзисторів  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_3$  і  $VT_4$ . Дроселі  $L_1$  і  $L_2$  використовують для виключення впливу високочастотної вхідної напруги на входи 3 і 4. За рахунок того, що транзистори  $VT_1$  і  $VT_2$  та  $VT_3$  і  $VT_4$  мають протилежну провідність, активні режими кожного з них відповідатимуть протилежним півперіодам напруги модуляції згідно з таблицею 1.

За симетрії в плечах та ідентичності параметрів усіх транзисторів  $VT_1$ ,  $VT_2$ ,  $VT_3$  і  $VT_4$ , у навантаженні, яке приєднується до виходів 1 і 2 пристрою, компенсується постійний складник струмів вихідних електродів і парні гармоніки частот модуляції, що дозволяє зменшити зміщення центральної частоти автогенератора та збільшити стабільність частоти. Зменшення рівня парних гармонік частот модуляції веде до зменшення нелінійних

спотворень у сигналі, що передають, і відповідно в сигналі, який отримують після демодуляції. Це дозволяє проводити кутову модуляцію на високих рівнях потужності радіопередавачів і забезпечувати синхронізацію виконавчих елементів у системах електроприводу.

Введення другої пари транзисторів VT3 і VT4 та чотирьох діодів VD1, VD2, VD3 і VD4 дозволяє забезпечити живлення транзисторів від джерел високочастотних сигналів та сигналів модуляції. Це виключає необхідність використання зовнішніх додаткових джерел живлення для цього пристрою, тобто він є енергетично й економічно ефективним.

У радіопередавальних пристроях такі реактивності забезпечують узгодження вихідного каскаду з антеною, а в системах електроприводу – оптимізують режими роботи перетворювача і двигуна. До того ж, у разі аварійних режимів такої пристрій може виконувати функцію захисту навантаження й вихідного каскаду під час подачі відповідного сигналу на входи модуляції.

Отже, запропонована реактивність може бути застосована як у високочастотному, так і в промисловому діапазонах для керування великими потужностями.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент 67790 Україна, МПК<sup>(2012.01)</sup> Н 03 Н 11/00 / Керована індуктивність / П. О. Гаврасієнко, О. О. Дрючин, А. П. Тульчій.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 201108327; заявл. 04.07.11 ; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.
2. Радиопередающие устройства / [Шахгильдян В. В., Козырев В. Б., Ляховкин А. А., Нуязин В. П., Розов В. М., Шумилин М. С.] ; – [2 изд. ]. – М.: Радио и связь, 1990. – 432 с.
3. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов: Г 34 учеб. пособие / [В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов, В. М. Богачев и др.] ; под ред. В. Н. Кулешова и Н. Н. Удалова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.

*Дрючин Александр Алексійович* – доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення.

*Гузь Максим Дмитрович* – студент групи ТКТ-106.

Вінницький національний технічний університет.