

## МЕТОД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ АДАПТАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ ПЕРЕДАВАЧА У БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Кропива В.О.<sup>1)</sup>, Кочан В.В.<sup>2)</sup>, Кочан О.В.<sup>3)</sup>

Тернопільський національний економічний університет

<sup>1)</sup> магістрант; <sup>2)</sup> к.т.н., професор

<sup>3)</sup> Національний Університет "Львівська політехніка", к.т.н., доцент

### І. Постановка проблеми

Бездротові сенсорні мережі (WSNs) особливо цінні при терміновому забезпеченні тимчасового мобільного та аварійного зв'язку. Сучасні модулі WSNs часто мають автономне живлення. При цьому виникає суперечність між відстанню, яку перекривають WSNs, і тривалістю роботи модуля без відновлення заряду акумулятора. Згідно [1] витрати енергії вихідного каскаду передавача займають приблизно 70% всіх витрат. Тому ефективною є адаптація їх потужності до умов обміну даними.

Підвищення енергетичної ефективності передавачів вимірювально-керуючих модулів (ВКМ) важливе для системи пост-аварійного моніторингу (СПАМ) ситуації на атомних електростанціях [2]. Провідні мережі обміну даними та живлення ВКМ особливо вразливі. А ВКМ має забезпечити обмін даними з центром керування за допомогою WSNs на протязі 72 годин. Для забезпечення живучості СПАМ у [2] передбачено використання мережі дронів-ретрансляторів, що розгортається на протязі кількох хвилин після аварії. Наближення дронів-ретрансляторів дає змогу зменшити потужність передавачів ВКМ та економити заряд акумуляторів. Та така економія енергії вимагає відповідного методу керування потужністю передавачів модулів WSNs. Відомі методи складні в реалізації, їх використання у WSNs оправдане лише при інтеграції у склад передавача. Вони практично не придатні при використанні готових модулів безпроводного зв'язку, що має місце у модулях WSNs.

### II. Мета роботи

Метою роботи є розроблення енергоефективного методу керування потужністю передавачів модулів WSNs, який має малі непродуктивні втрати енергії при керуванні вихідною потужністю.

### III. Пропонований метод керування потужністю передавачів модулів WSNs

Якщо вихідну напругу передавача  $U_{OUT}^T$  зменшити у  $k$  разів, то, при постійному опорі навантаження  $R_A$ , споживана ним потужність  $P_{OUT}^S$  буде, порівняно з повною потужністю  $P_{OUT}^F$ , складати

$$P_{OUT}^T = U_{PS} \cdot I_{PS} \approx \frac{U_{PS}}{k} \cdot \frac{U_{OUT}^T}{k \cdot R_A} \approx \frac{1}{k^2} \cdot P_{OUT}^F, \quad (1)$$

де  $U_{PS}$ ,  $I_{PS}$  – напруга та струм живлення вихідного каскаду передавача.

Таким чином, зменшивши  $U_{PS}$  майже до  $U_{OUT}^T / k$  можна зменшити споживану потужність приблизно у  $k^2$  разів. Однак напруга акумулятора  $U^{AC}$  постійна, її надлишок може прийняти лінійний стабілізатор. Тоді непродуктивні втрати енергії акумулятора  $P_D^{AC}$  можна оцінити як

$$P_D^{AC} \approx (U^{AC} - U_{OUT}^T / k) I_{PS} \approx (U^{AC} - U_{OUT}^T / k) \frac{U_{OUT}^T}{k \cdot R_A}, \quad (2)$$

Зменшити втрати можна використавши імпульсний стабілізатор. Але різкі зміни  $I_{PS}$  при передачі цифрових даних викликають перехідні процеси. При деяких співвідношеннях частот передачі та роботи стабілізатора виникають спотворення вихідного сигналу передавача.

Основна ідея пропонованого енергоефективного методу керування потужністю передавачів полягає у тому, що між акумулятором та вихідним каскадом передавача вмикають реактивний

(конденсаторний) подільник напруги (рис. 1). Конденсатори не споживають активну енергію, вони лише передають її. Схема рис. 1 включає акумулятор А, резисторний подільник R1...R3, зарядні транзистори V1, V2, конденсаторний подільник C1...C3, ключі S1...S6 та конденсатор C4 у колі живлення вихідного каскаду підсилювача передавача. Для зменшення напруги живлення передавача, наприклад, втричі, пристрій керування (на рис. 1 не показаний) замикає ключі S1...S3 і конденсатори C1...C3 через транзистори V1, V2 заряджаються до напруг, що визначаються рівними опором резисторів R1...R3, тобто до третини напруги акумулятора А. Після цього ключі S1...S3 розмикаються і замикається ключ S6. На конденсатор C4 поступає напруга, рівна третині напруги акумулятора А та заряджає його. При цьому напруга на C3 падає. Далі ключ S6 розмикається та замикається ключ S3. Конденсатор C3 відновлює свій заряд через транзистор V1. Тоді додатково замикаються ключі S1, S2, це дає змогу відновити свій заряд конденсаторам C1, C2 (компенсувати саморозряд). Далі описаний процес замикання/розмикання ключів S1...S6 повторюється.

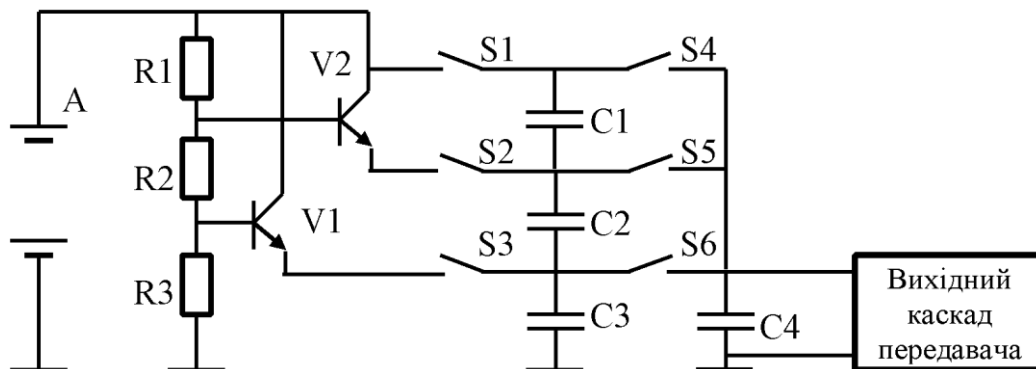


Рис. 1. Схема вузла енергоефективного зменшення напруги живлення вихідного каскаду передавача

#### IV. Оцінка енергоефективності методу

Втрати енергії у пропонуваній схемі викликаються трьома причинами – не ідеальністю ключів, струмом подільника R1...R3 та зарядом C3. Ключі фірми Analog Devices на польових транзисторах із ізолюваним затвором близькі до ідеальних, їх втратами можна нехтувати. Опір R1...R3 спеціально слід вибирати великим для захисту V1, V2 від пробую струмом заряду C2, C3. Якщо струм R1...R3 вибрати, наприклад, 0,1мА, то струми бази V1, V2 не зможуть його перевищити. Тоді, навіть при коефіцієнті підсилення  $\beta=200$ , їх струми колекторів не перевищать 20мА, що не перевищує допуск.

Втрати від заряду C3 визначаються спадом напруги на V1. Струм заряду C3 буде великим – його визначає динамічний (а не статичний) опір  $R_{DYN}^{TR}$  транзистора V1 (одиниці Ом). Тому час заряду буде малим, а втрати  $E_{ZAR}^{VTR}$  будуть визначатися як

$$E_{ZAR}^{VTR} \approx I_{ZAR}^2 \cdot R_{DYN}^{TR} \cdot T_{ZAR}, \quad (3)$$

де  $I_{ZAR}$  – струм заряду C3;  $T_{ZAR}$  – час заряду C3, який визначається постійною часу  $I_{DYN}^{TR} \cdot C3$

Оцінити енергоефективність пропонуваного рішення можна аналогічно до (1). Якщо нехтувати втратами у схемі рис. 1 (вважати, як це було прийнято в (1), що коефіцієнт корисної дії близький до 100%), то споживану від акумулятора потужність  $P^{AC}$  під час передачі даних можна оцінити як

$$P^{AC} \approx \frac{U_{PS}}{k} \cdot \frac{I_{PS}}{k} \approx \frac{U_{PS} \cdot U_{OUT}^T}{k^2 \cdot R_A} \quad (4)$$

#### Висновок

Як видно з (4), пропонувана схема дає можливість зменшити споживану потужність вихідного каскаду передавача приблизно у  $k^2$  разів навіть при незмінній напрузі акумулятора  $U^{AC}$ .

#### Список використаних джерел

1. A. Perrig, R. Szewczyk, V. Wen, D. Culler and J.D. Tygar, SPINS: Security protocols for sensor networks, in: International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001), Rome, Italy, 2001.
2. Патент № 114107 України на корисну модель, МПК G06F 7/00. Спосіб формування безпроводної мережі обміну даними між вимірювально-керуючими модулями та центром управління [Текст] / Кочан В.В., Саченко А.О., Роберт Хіромото, Яцків В.В., Харченко В.С., Фесенко Г.В., Яновський М.Е.; заявник і патентовласник Кочан В.В., Саченко А.О. – № u2016 09841; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. №4. – 6 с.: іл.