

СПОГАДИ ПРО В. М. МИХАЙЛОВСЬКОГО

Я. Ю. Беленький

СПОГАДИ ПРО РОЗРОБКУ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ У ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОМУ ІНСТИТУТІ

У вересні 1955 р. після закінчення радіотехнічного факультету Львівського політехнічного інституту автор почав працювати інженером в Інститут машинознавства і автоматики Академії наук України (нині Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України) у відділ 21, яким керував член-кореспондент АН УРСР В. М. Михайловський, і за завданням керівника групи став працювати над схемою комутації для 10-канальної вимірювальної станції з часовим поділом каналів для електричного каротажу нафтових свердловин на одножильному кабелі.

В основу була взята відома схема кільцевого багатофазного квазісинусоїдального генератора, описана в книзі Н. Т. Петрович, В. В. Козырев “Генерирование и преобразование электрических импульсов”. – М.: изд-во “Советское радио”. – 1954 г. Було поставлено завдання наблизити форму квазісинусоїдальної напруги до прямокутної, а потім домогтися можливо чіткого поділу вимірювальних каналів у часі.

Вирішити це завдання автор вирішив таким чином. Спочатку включити в катодний ланцюг кожної лампи кільцевого багатофазного квазісинусоїдального генератора опір, котрий буде створювати негативний зворотний зв'язок і котрий сформує розділену в просторі послідовність полісинусоїд. Проте потім, з метою зменшення кількості елементів, був включений один загальнокатодний змінний опір. Абсолютно несподівано при певній величині опору в загальнокатодному ланцюзі на екрані осцилографа стрибком замість поліпшеної квазісинусоїдальної напруги виникли імпульси з крутими фронтами, пологими вершинами і чіткими інтервалами між ними.

Стало зрозуміло, що це невідомий імпульсний режим і основне питання, яке виникло, чи з'являються ці імпульси у всіх каскадах і чи зміщені вони в часі і просторі. Якщо це так, то відкрито новий клас імпульсних схем, що генерує імпульси, зміщені в часі і просторі, з довільним числом каскадів, який, природно, можна використовувати як комутатор у багатоканальних системах з часовим поділом каналів. При цьому при довільному числі каскадів (каналів) відкрита і споживає струм тільки одна генеруюча імпульс лампа, а інші закриті.

Цей абсолютно новий клас імпульсних релаксаційних генераторів, кожна схема якого складається не з двох каскадів, як генератори Джордана (F. Jordan), Абрагама (A. Abraham), Ікклза (W. Ikks) та Блоха (E. Bloch), а, в принципі, з довільного кількості каскадів, була названа багатофазним мультівібратором. Згодом цей термін, запропонований автором стосовно багатофазних схем, “легко” увійшов у технічну літературу, оскільки правильно відображав суть роботи схеми.

Мною в 1957 р. було отримано перше радянське авторське свідоцтво № 105479 на принципово нову імпульсну схему під назвою “багатофазний мультівібратор” з пріоритетом від 9 лютого 1956 р., яка поклала початок цілому класу нових релаксаційних схем (генераторів сигналів з двома та більше стійкими станами).

© Я. Ю. Беленький, 2014

Надалі була розроблена поглиблена теорія роботи цього класу схем. Здобута автором заочно друга вища університетська освіта (“математик”) дала змогу поглибити теорію коливань для цього класу схем. Виявилось, що їх робота описується системою нелінійних диференціальних рівнянь $2n$ -вимірною з малим параметром при старших похідних, що становило великий теоретичний інтерес і як математична проблема.

Загальною теорією цього класу рівнянь займався відомий радянський математик, академік Л. С. Понтрягін. Отримані рівняння для багатофазних мультівібраторів дали перший і, можливо, єдиний приклад реально існуючої схеми, що описується цією системою рівнянь за $n > 2$.

Була розроблена якісна теорія цих схем, яка показала, що ці схеми мають цілу низку режимів генерації декількох імпульсів, які були названі серійними. Найстійкішим режимом роботи, як показала теорія і практика, був режим генерації одного імпульсу за період. Були запропоновані автором у 1958–1960 рр. ще ряд багатофазних схем, на які було отримано 13 авторських свідоцтв, зокрема, і на багатофазні тригери.

Відмінні властивості багатофазних релаксаторів від відомих схем, що створюють послідовність імпульсів, зміщених у часі і в просторі. Схеми багатофазних релаксаторів володіють рядом істотних переваг порівняно з іншими схемами, що створюють зсунуту в часі і просторі послідовність імпульсів, наприклад, порівняно з ланцюжком двофазних тригерів з декодером.

По-перше, вони гранично економні за споживанням електричної енергії, споживає електричну потужність тільки один каскад, що генерує у певний момент імпульс. Це в кількості разів, що дорівнює кількості фаз, зменшує потужність споживання ланцюжка двофазних релаксаційних схем і дозволяє навантажувати генеруючий каскад значним струмом для отримання високої швидкодії.

По-друге, вона має мінімальне число елементів на один каскад і, тим самим, легко може бути реалізована, особливо в мікромініатюрному виконанні, зокрема, у вигляді транзисторних інтегральних схем.

По-третє, вона може працювати в різних режимах керування: автоколивальному з тактуванням кожного імпульсу одним стабільним за частотою генератором для отримання високої стабільності за тривалістю кожного імпульсу, очікуючий режим із запуском від першого каскаду і генерацією серії імпульсів, рівної числу каскадів, кроковий із зсувом від кожного пускового імпульсу (багатофазні тригери).

Кожен каскад багатофазного тригера складається з двох транзисторів різного типу провідності при цьому, незалежно від числа ланок у ланцюзі, відкрита і споживає струм тільки одна ланка.

Матеріали цих робіт були опубліковані в перших двох монографіях автора [1, 3].

З часом стало зрозуміло, що слід проводити більш глибоке вивчення можливостей цього класу імпульсних схем в прикладному плані.

На початку 70-х років були детально досліджені граничні частотні властивості цього класу схем. Було показано, що максимальна частота, яка може бути отримана для релаксаційних схем на кремнієвих транзисторах, має порядок 4...5 ГГц. Для багатофазних мультівібраторів гранична частота ще залежить і від числа каскадів. Були виявлені фізичні причини обмеження частотних властивостей релаксаторів [2].

Цікаво зазначити, що сьогодні найбільш високошвидкісні процесори сучасних комп'ютерів мають частоту близько 3,6 ГГц. Подальше підвищення швидкості роботи комп'ютерів досягається не збільшенням частоти імпульсного тактового генератора, а шляхом збільшення числа процесорів.

Були проведені роботи з дослідження багатофазних мультівібраторів з магнітними міжкаскадними зв'язками [4], одночасно проводилися роботи щодо їх використання в різних багатоканальних інформаційних системах.

Керування багатофазними релаксаційними генераторами. Особливу увагу було приділено питанням керування релаксаційними схемами взагалі, і багатофазними, зокрема. Відомо, що цінність релаксаційних схем: тригерів і мультівібраторів, що використовуються в дискретній техніці, полягає в тому, що вони керуються зовнішньою напругою: не тільки синхронізуються, як синусоїдальні генератори, а й синфазуються, тобто спрацьовують у момент подачі керуючого імпульсу. І, найбільший інтерес представляє проблема керування у високочастотному діапазоні роботи імпульсних схем (тривалість імпульсів порядку і менше 1 нс) і виявлення причин втрати керування.

Відома теорія керування, розроблена ще в 30-х роках, не тільки не відповідала на це питання, але й давала неточні рекомендації. Класичні зони синхронізації (а точніше зони синфазування для імпульсних схем) показували, що імпульс релаксатора можна зменшувати до як завгодно малої величини, що не відповідає дійсності, насправді ці зони обмежені зліва.

Основна причина обмеження виявилася в тому, що з підвищенням частоти керування тривалість фронту релаксационної схеми стає співмірною з тривалістю вершини і релаксаційна схема набуває властивостей квазісинусоїдального генератора, яка не синфазується, а синхронізується, тобто працює з частотою керуючих імпульсів або кратною частотою, тому швидка стадія перекидання починається в відмінній фазі по відношенню до імпульсів керування, що не дає можливості їх використовувати в інформаційних системах, що перетворюють дискретну інформацію в строго фіксовані моменти часу. В результаті цих досліджень були отримані зони синфазування мультівібраторів на гранично високих частотах і показані причини їх обмеження зліва.

Всі ці питання були викладені в монографії [8], за яку автори отримали престижну іменну премію Національної академії наук України в галузі енергетики у 1988 р.

Використання багатофазних релаксаторів в приладах інформаційної техніки. Найбільш широке поширення в 50-ті роки багатофазні релаксатори отримали в багатоканальних інформаційних системах з тимчасовим поділом каналів різного функціонального призначення в якості комутаторів каналів (розподільників в часі і просторі) [4–6].

Багатофазні релаксатори дозволяють здійснювати одномірне сканування в просторі, а також двовимірне або тривимірне, що необхідно для відтворення зображень, зокрема, в сучасних фотоапаратах і плоских моніторах, а також дискретно сканувати електронні запам'ятовуючі пристрої типу USB Flash Drive.

Необхідно зазначити, що приблизно через 20 років після відкриття багатофазних мультівібраторів, подібний ефект переносу не імпульсу, а електричного заряду, був відкритий в кристалах, що призвело до побудови кристалічних фотоматриць, які стали основою сьогоденної фотоапаратури. Проте перенесення зарядів рядків у просторі у всіх сучасних фотоапаратах здійснюється саме трифазними мультівібраторами.

У цей час у зв'язку з розробкою дискретних моніторів, мікромініатюрних фотосенсорних камер, елементів пам'яті типу Stick, рідкокристалічних моніторів інтерес до багатофазних релаксаторів як гранично економічним за споживанням і кількістю елементів схемами, що створює зміщену в часі і просторі послідовність імпульсів, скануючих простір по рядках і стовпцях, істотно зростає.

Сьогодні в габаритах 1/3 сірникової коробки розміщують пам'ять близько 15...18 ГБ інформації, яка основана лише за рахунок схемних релаксаційних еле-

ментів. Одна сірникова коробка може мати пам'ять до 60 ГБ, а в габаритах коробки сигарет розміщують пам'ять близько 300 ГБ.

Якщо врахувати, що SanDisk споживає мілівати, спрацьовує зі швидкістю не механічного диску пам'яті, а зі швидкістю перемикання електронних релаксаційних схем (одиниці наносекунд), легко замінюється, то можна точно вважати, що через недовгий час всі механічні диски пам'яті в комп'ютерах будуть замінені на чисто електронну пам'ять на дисках типу SanDisk. Природно, будуть замінені CD-диски і вже багато споживачів в якості пам'яті CD-дисками не користуються, а тільки SanDisk-ми.

Якщо взяти звичайний CD-диск, то він має діаметр 12 см і обсяг пам'яті близько 4 ГБ. Виходить, що 6 таких дисків мають пам'ять одного SanDisk-ку. Крім того, використання дисків пов'язано з механічним рухом записуючого і відтворюючого пристрою.

Це призвело до того, що зараз тверді диски пам'яті замінюють в сучасних комп'ютерах пам'яттю типу SanDisk (Cruzer Mikro або Flash Drive). Мабуть, найближчим часом вони взагалі перестануть використовуватися.

Розробка якісної теорії багатозонних мультівібраторів показала, що ця схема одночасно реалізує нову, раніше невідомий фізичний ефект: “дискретного, стрибкоподібного переносу в просторі локальної зони імпульсного збудження у вигляді імпульсу напруги або магнітного збудження, що виникає в однорідному ланцюговому (зв'язаному) електронному середовищі (єдиній схемі)”. Запатентувати це як фізичний ефект не вдалося, оскільки в колишньому СРСР у ті роки не видавали патенти приватним особам.

У цей час схеми багатозонних релаксаторів вже увійшли в підручники, енциклопедії, довідники з імпульсної техніки і радіотехніки. Інтернет показує, що література про багатозонні схеми поширена від Китаю і Японії до Сполучених Штатів Америки, в багатьох колишніх республіках СРСР. Зокрема, в журналах NASA, цитуються статті автора про багатозонні схеми, опубліковані в 70–80-х роках в збірниках Фізико-механічного інституту “Отбор и передача информации”. Згадка та посилання на роботи автора потому 20–25 років після перших публікацій перестали бути “необхідними”, з чим доводиться “мириться”.

На жаль, у зв'язку з політичним протистоянням між колишнім Радянським Союзом та західними державами автор не мав можливості публікуватися в західноєвропейській науковій літературі.

Тому навіть у сучасних західноєвропейських підручниках з імпульсної техніки для вузів описані лише релаксаційні схеми з двома станами (двофазні), що вже більше 50-ти років не відповідає дійсності. Однак викладачі західноєвропейських вузів знайомі з багатозонними релаксаторами.

У російськомовному інтернеті [Google, “Беленький, многофазные мультивибраторы” або “Беленький, многофазные релаксаторы”, <Ян Беленький>], роботи автора широко представлені.

Однак більш широке впровадження багатозонних релаксаторів ще чекає своєї реалізації і можливо тільки тоді, коли в підручниках і літературі про імпульсну техніку англійською, німецькою та іншими європейськими мовами інформація про багатозонні релаксаційні генератори отримає таке ж поширення, як і про звичайні – двофазні.

Зазначимо, що робота над багатозонними схемами дозволила організувати відому в союзі наукову школу. На цю тему тільки під керівництвом автора було захищено 10 дисертацій та опубліковано близько 200 наукових робіт. А всього, як відомо автору, за цією темою в колишньому СРСР захищено близько 100 робіт, по багатьом з них автор був запрошений в якості офіційного опонента.

Впровадження робіт із багатофазними схемами в якості елементів, що створюють послідовність імпульсів, зсунутих у просторі та часі, дозволило узагальнити теорію інформації Шеннона на просторово-часові процеси і вирішити ряд найважливіших питань в інформаційній теорії, пов'язаних з обробкою і передачею інформації, про найбільш загальні процеси - процеси вимірювань в просторі і в часі. І хоча з моменту публікації цього матеріалу [7, 9, 10] минуло майже чверть століття, ні критика цієї теорії, ні нова інформаційна теорія про просторово-часові процеси не з'явилася, хоча до публікації робіт автора такі спроби були.

Сьогодні релаксаційні генератори як двофазні, так і багатофазні є базовими елементами сучасної дискретної інформаційної техніки, основою сучасних приладів інформатики, яка розвивалася, розвивається і розвиватиметься з величезною швидкістю, що дає змогу їй робити, як писав у своєму заповіті Альфред Нобель, "найбільший внесок у розвиток людства". Частиною цього вкладу вніс винахід багатофазних релаксаторів та подальший розвиток тематики, пов'язаний з цими схемами.

1. *Беленький Я. Е.* Многофазные релаксаторы. – К.: Наук. думка, 1964. – 240 с.
2. *Беленький Я. Е.* Многофазные релаксационные схемы на транзисторах. – М.: Связь, 1972. – 130 с.
3. *Беленький Я. Е., Тищенко А. Г.* Многофазные мультивибраторы наносекундного диапазона. – К.: Наук. думка, 1972 – 156 с.
4. *Беленький Я. Е., Левицкий О. Е.* Многофазные магнито-транзисторные релаксаторы. – К.: Наук. думка, 1974. – 158 с.
5. *Беленький Я. Е., Кац Б. М.* Многоканальные бесконтактные сигнализаторы температуры. – М.: Энергия, 1974. – 120 с.
6. *Коммутаторы аналоговых сигналов на полупроводниковых элементах / Под ред. Я. Е. Беленького // Я. Е. Беленький, Я. П. Маршалок, А. Г. Тищенко, Э. К. Туфлин.* – М.: Энергия, 1976. – 208 с.
7. *Беленький Я. Е., Кошевой В. В.* Системы пространственно-временного преобразования информации / Под ред. Я. Е. Беленького. – К.: Наук. думка, 1979. – 259 с.
8. *Управление релаксационными генераторами / Под ред. Я. Е. Беленького // Я. Е. Беленький, О. Е. Левицкий, В. А. Халин, С. Г. Шульгин.* – К.: Наук. думка, 1982. – 280 с.
9. *Беленький Я. Е.* Измерение параметров пространственных полей. – К.: Наук. думка, 1985. – 288 с.
10. *Беленький Я. Е.* Принцип квазиортогональности в измерениях. – К.: Наук. думка, 1992. – 224 с.

Берлін, Німеччина

Одержано
23.04.2014