

К. А. Трубочанінова

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

МОДЕЛЬ АНТЕНИ ДЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

Анотація. Для реалізації вимог щодо широкосмужності приймально-передавальної антени найбільш придатним є антенний елемент, який являє собою антену з розширюючою щільною TSA (Tapered Slot Antenna). Форма розімкнутої щільни визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2-6,5 ГГц. Попереднє формування в системі чіпу у вигляді моноциклу Гауса унеможливило виникнення енергетичних втрат, що виникають за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежують радіус розповсюдження надширокосмужового інформаційного сигналу. Тому формування надширокосмужного чіпу здійснюють шляхом збудження моноімпульсного сигналу у розташованих поряд двох антенних елементах, кожний з яких являє собою антену TSA. **Мета роботи** пов'язана з розробкою методу випромінювання надширокосмужового сигналу шляхом поділу сигналу навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обом моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени. Розроблена турнікетна модель антени доводить, що біполярний імпульс випромінювання електромагнітного поля у 9,5 разів перевищує радіус дії у порівнянні з радіотехнічними системами, які працюють з використанням уніполярного моноімпульсу та у 2,37 разів у порівнянні із системами, які працюють з використанням гармонійних коливань. Розроблена імітаційна модель антени в середовищі програмування HFSS, яка дозволяє проводити оптимізацію технічних характеристик антени.

Ключові слова: надширокосмужові сигнали, метод випромінювання надширокосмужового сигналу, TSA, HFSS.

Вступ

Переповнення радіочастотного спектру радіоелектронними засобами (рис. 1) створює несприятливі умови для організації безпроводового зв'язку. Причому, наведений аналіз доводить, що найбільша кількість засобів зв'язку зосереджено в діапазоні частот від 2 до 12 ГГц. Особливість використання цього діапазону обумовлена найменшим рівнем зашумлення радіохвиль в просторі.

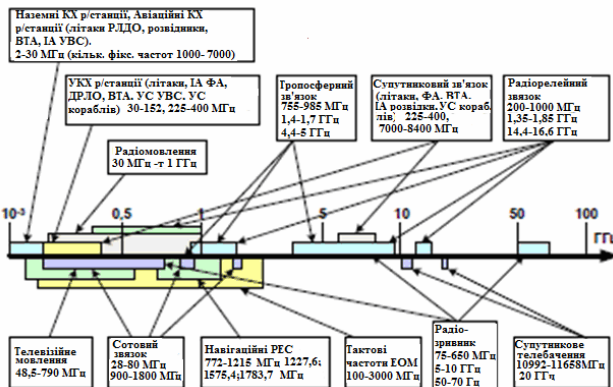


Рис. 1. Розподіл за робочими частотами засобів зв'язку

Порівняльний аналіз систем і методів організації безпроводового зв'язку (рис. 2) довів, що найбільш прийнятним для організації якісного зв'язку є системи 5-го покоління [1]. Аналіз технічних характеристик пристроїв зв'язку (рис. 3) показав, що для вирішення задач забезпечення якісного зв'язку, застосування надширокосмужових технологій з використанням часової позиційно-імпульсної модуляції є перспективним напрямом. Технологія надширокосмужового зв'язку полягає в безпосередньому випромінюванні до вільного простору гребінки малопотужних надкоротких імпульсів, яка являє собою інформаційний біт. При цьому випромінювання та

передача двійкової інформації здійснюється в широкому частотному діапазоні (1 – 11 ГГц) значно нижче рівня шуму, а спектр інформаційного сигналу розподіляється рівномірно у цьому діапазоні частот.

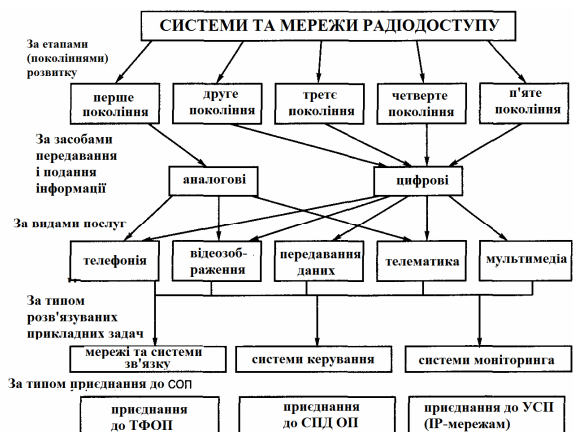


Рис. 2. Класифікація систем та мереж радіодоступу

Тип пристрою	Швидкість передавання даних	Радіус зони обслуговування, м	Діапазон частот, ГГц	Рівень потужності	Тип модуляції	Метод каналного розподілу
СШП	До 500 Мбіт/с	15	1...11	-30...40 дБм/МГц	PPM/інший тип	Імпульсна передача
Bluetooth	722 кбіт/с	15	ISM 2,4	Клас 1: 20 дБм Клас 2: 4 дБм Клас 3: 0 дБм	GMSK	Розподіл каналів за рахунок сигналів зі псевдодинамовою перебудовою частоти
802.11a, WLAN	До 54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	Частотне TDMA
802.11b, WLAN	До 11 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	ССК (8 Complex Chip Spreading)	- « -
802.11g, WLAN	До 54 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	- « -
Hiper LAN 2, WLAN	54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK, OFDM	- « -

Рис. 3. Технічні характеристики пристроїв із безпроводовими каналами зв'язку

Це вимагає надширокої смуги частот приймально-передавальної антенної системи.

Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш придатним є антенний елемент (рис. 4), що являє собою антенну з розширюючою щілиною – *TSA (Tapered Slot Antenna)*, яку характеризує високий коефіцієнт посилення [1-4].

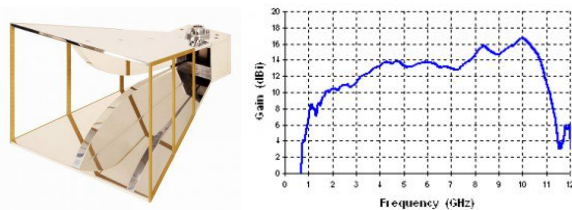


Рис. 4. Модель TSA антени та її технічні характеристики

Форма розімкнутої щілини TSA визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2 - 6,5 ГГц.

Метод випромінювання надширокосмугового сигналу. Істотне розширення частотної смуги електромагнітного випромінювання є визначальним при використанні TSA. Однак, попереднє формування в системі чіпу у вигляді моноциклу Гауса унеможливує виникнення енергетичних втрат, що виникає за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежує радіус розповсюдження надширокосмугового інформаційного сигналу. Тому формування надширокосмугового чіпу, здійснюють шляхом збудження моноімпульсного сигналу у розташованих поряд двох антенних елементів, кожний з яких являє собою антенну TSA. Генерований надширокосмуговий уніполярний сигнал поділяють навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обом моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів інтерферують у еквівалентному загальному розкритті обох антен, збуджуючи у ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу [5-7]. Цей біполярний імпульс електромагнітного поля створює поле випромінювання, яке у 9,5 разів перевищує радіус дії широко-

смугового електромагнітного випромінювання у порівнянні з радіотехнічними системами, які працюють з використанням уніполярного моноімпульсу та перевищує у 2,37 разів у порівнянні із системами, які працюють з використанням гармонічних коливань. На рис. 5 наведено модель антени, яка реалізує запропонований метод.

З генератора 1 уніполярні імпульсні сигнали безпосередньо надходять до розподільвача сигналу 6 першого блоку антен 8, який поділяє його навпіл, та подає безпосередньо до системи збудження 4-1, створюючи у випромінюючому розкритті 5-1 моноімпульсне електромагнітне поле. У той же час інвертований моноімпульсний сигнал подається через лінію затримки 7 на систему збудження 4-2, створюючи у випромінюючому розкритті 5-2 інвертоване моноімпульсне електромагнітне поле, затримане на половину тривалості моноімпульсного сигналу. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів основного та інвертованого інтерферують у еквівалентному загальному розкритті антени, збуджуючи в ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу.

Організація зв'язку в системі рухомих пристроїв накладає певні обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі вектору поляризації інформаційного сигналу відносно вісі приймальної антени. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю. Тому пропонується запровадити **мерехтливу поляризацію**, за якою кожний з гребінки надкоротких імпульсів, що кодують інформаційний біт, по черзі подається на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогонально. Таке розташування обох антенних блоків створює турнікетну антенну систему та забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації. При цьому одночасно інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить через лінії затримки 10, 11 до іншого блоку антен 9, який має аналогічну структуру та конструктивно розташовано ортогональне відносно першого блоку [3], створюючи випромінювання сигналу, вектор поляризації якого ортогональний тому, що випромінює блок антен 8, реалізуючи таким чином мерехтливу поляризацію всієї антенної системи [8].

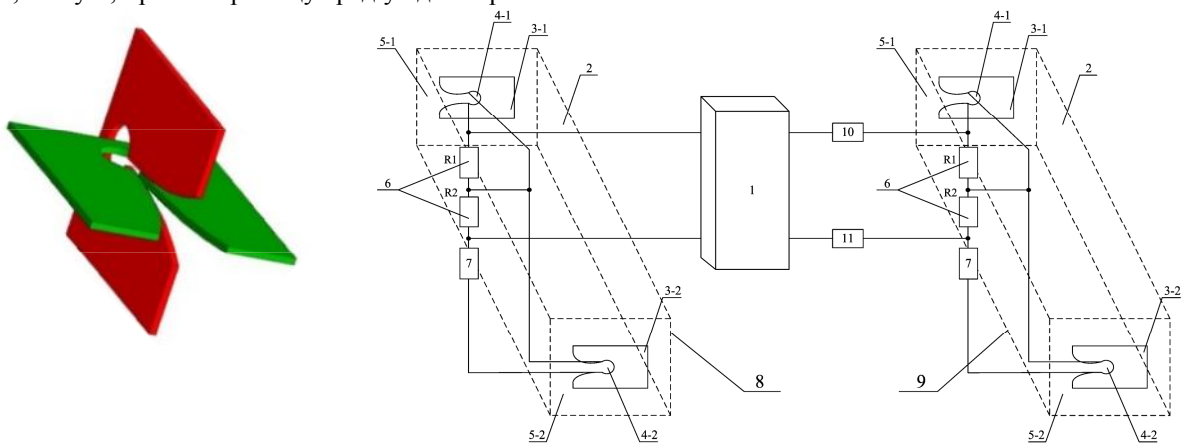


Рис. 5. Турнікетна модель антени для випромінювання надширокосмугових сигналів

Дослідження запропонованої антенної системи та її елементів виконувалося в середовищі програмування HFSS (High Frequency System Simulator), яке призначено для тривимірного електромагнітного моделювання і розробки височастотних радіоелектронних і антенних пристроїв, що дозволило дослідити її технічні характеристики [9].

Розробка моделі антени в середовищі програмування HFSS. Процес побудови імітаційної моделі антени за допомогою HFSS включає такий алгоритм:

Крок 1. Створення моделі аналізованої структури, у тому числі: створення тривимірної графічної моделі структури (креслення); завдання параметрів матеріалів, із яких складається структура.

Крок 2. Визначення електродинамічних параметрів структури, що включає: завдання граничних умов на поверхнях, що формують аналізований об'

єкт; визначення і калібрування портів; завдання параметрів рішення.

Крок 3. Електродинамічний аналіз досліджуваного об'єкту, у тому числі: аналіз об'єкту в смузі частот; параметричний аналіз об'єкту; параметрична оптимізація об'єкту.

Крок 4. Візуалізація результатів електродинамічного аналізу, що включає: побудова графіків в декартових, полярних координатах, діаграм Сміта, діаграм спрямованості тощо; анімація розподілів електромагнітного поля і електричного струму; збереження результатів аналізу у файлах даних.

Модель антени, складається із форми у вигляді щілини, що розходитьсся. Закладаємо основу (1,5 мм) і властивості матеріалу (рис. 6).

Наступним етапом моделювання було створення форми антени та побудова другої антени (рис. 7).

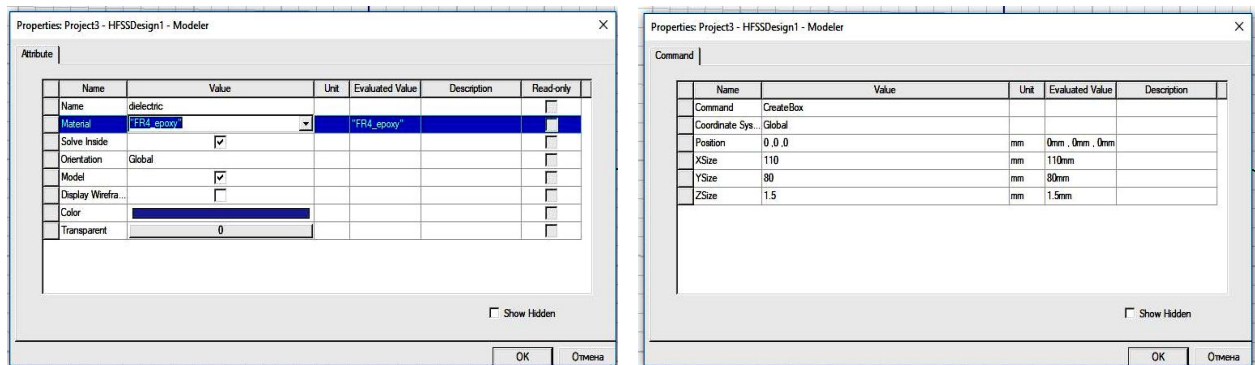


Рис. 6. Параметри підкладки антени

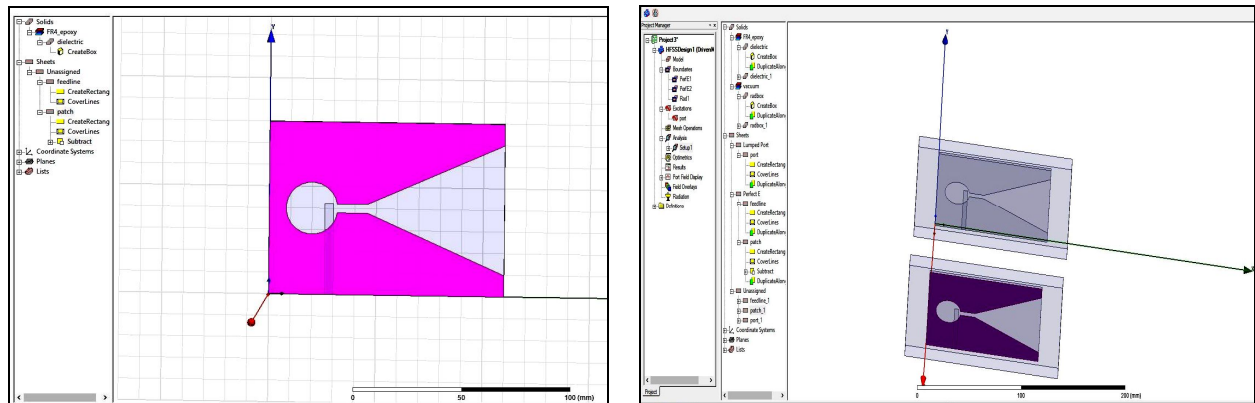


Рис. 7. Створення форми антени та побудова другої антени

В результаті проведених процедур загальний вигляд побудованої моделі антени та результати розрахунку моделі показано на рис. 8.

Висновки

Таким чином, використання запропонованої турнікетної антенної системи дозволяє підвищити більш ніж удвічі радіус дії ширококутового електромагнітного випромінювання за рахунок створення у розкриві

антен надкороткого біполярного імпульсного сигналу та застосування мерехтливої поляризації.

Результати імітаційного моделювання, довели працездатність запропонованої моделі та технічних рішень щодо використання їх у системах мобільного надширококутового зв'язку. Розроблена модель дозволяє проводити оптимізацію технічних характеристик турнікетної антени та адаптувати їх до вимог технічних завдань під час конкретних розробок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія та практика електромагнітної сумісності телекомунікаційних систем / С. В. Панченко, О. А. Серков, К. А. Трубочанінова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 249 с.

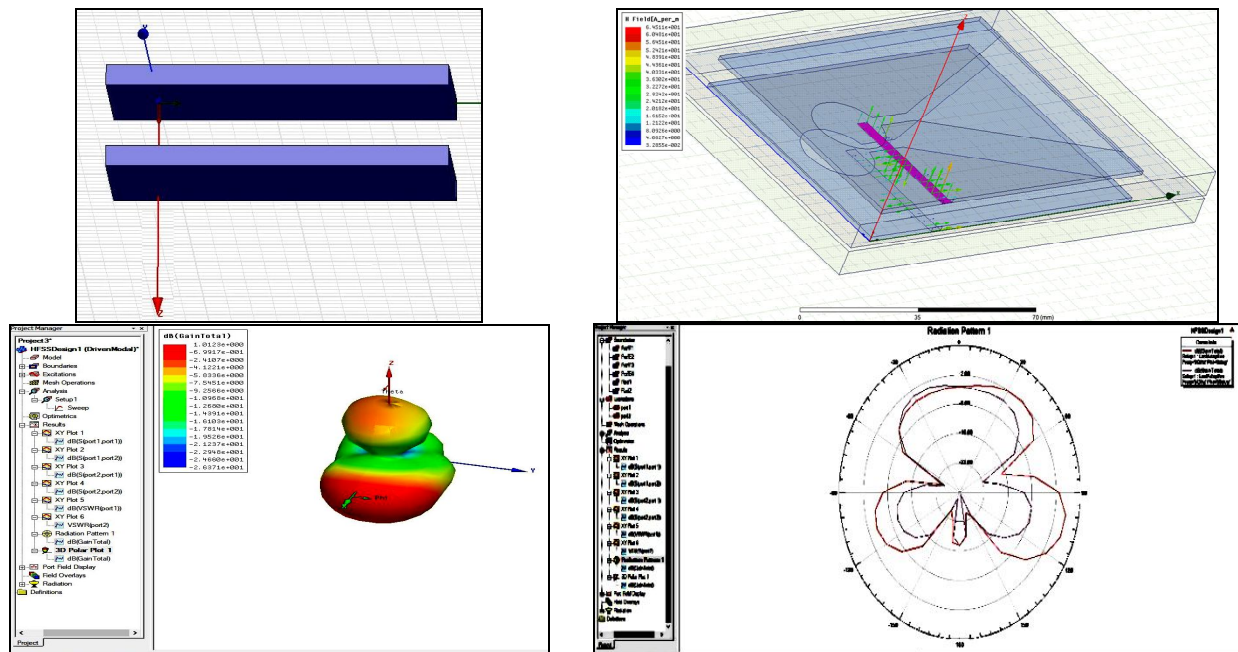


Рис. 8. Імітаційна модель антени та результати моделювання

- Серков О. А. Модель TSA / О. А. Серков, Г. І. Чурюмов, В. С. Бреславец, М. Ю. Толкачов // Матеріали XVII МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-17)», Харків-Одеса, 11-15 вересня 2017. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 76.
- Баркун М. А. Сверхширокополосная связь. Часть 1 / М. А. Баркун, О. Р. Ходасевич // Проблемы инфокоммуникаций. – Минск: Белорусская государственная академия связи. – 2016. – № 2 (4). – С. 5–15.
- Серков А. Широкополосная импульсная антенна / А. Серков, В. Бреславец, М. Толкачев, В. Кравченко, Г. Чурюмов // Сучасні інформаційні системи. – Т. 1, № 3. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 117–126.
- Лазуренко Б. О. Технологія надширококуглових сигналів в системах зв'язку рухомих пристроїв / Б. О. Лазуренко, К. А. Трубочанінова, О. А. Серков // Матеріали XIX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-19)», Харків-Одеса, 11-16 вересня 2019. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – С. 74–75.
- Ковтун І. В. Моделювання плоскої дводіапазонаної антени ґратки для приймання хвиль полярізації / І. В. Ковтун, М. С. Курцев, К. А. Трубочанінова // Матеріали 32 МНПІК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 24-25 жовтня 2019. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – № 4. – С. 8.
- Трубочанінова К. А. Моделі і методи організації надширококуглого безпроводового зв'язку / К. А. Трубочанінова, О. А. Серков // Матеріали III ВНТК «Проблеми інфокомунацій», Полтава-Київ-Харків-Мінск, 19 листопада 2019. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019. – С. 26–27.
- Спосіб збудження надширококуглової антени з мерехтливою полярізацією: патент на корисну модель UA 141131 U Україна: МПК H01Q 21/06 (2006.01) / С. В. Панченко, О. А. Серков, К. А. Трубочанінова, М. С. Курцев, Б. О. Лазуренко; власник Укр. держ. ун. заліз. тр. – у 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
- Моделирование антенн в ANSYS HFSS [Електронний ресурс] // САПР и графика. – 2015. – №8. – С. 40–43. – Режим доступу: <https://sapr.ru/article/24969>.

Received (Надійшла) 25.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

Development of an antenna model for the emission of ultra-wideband signals

K. Trubchaninova

To implement the requirements for the wide bandwidth of the transmitting and receiving antenna, the most suitable antenna element is an antenna with a Tapered Slot Antenna (TSA). The shape of the open slit determines the frequency band, and its energy directive is characterized by a narrow main beam and the practical absence of side lobes in the frequency range 2–6.5 GHz. The preliminary formation of a chip in the form of a Gaussian monocycle in the system makes it impossible for the occurrence of energy losses arising from the signal inconsistency in a wide frequency band and limiting the propagation radius of the ultra-wideband information signal. Therefore, the formation of a supra-wideband chip is carried out by exciting a monopulse signal in two adjacent antenna elements, each of which is a TSA antenna. The purpose of this work is to develop a method for emission of an ultra-wideband signal by dividing the signal in half, one part of which is sequentially inverted, delayed for a time equal to half the duration of a monopulse, and both monopulse signals excite, respectively, both antennas located side by side on a single dielectric base. The developed turnstile antenna model proves that a bipolar pulse of electromagnetic field radiation is 9.5 times greater than the range compared to radio systems that operate using a unipolar monopulse and 2.37 times as compared to systems operating using harmonic oscillations. An antenna simulation model in the HFSS programming environment has been developed, which allows optimization of the antenna technical characteristics.

Keywords: ultra-wideband signals, a method of emitting an ultra-wideband signal, TSA, HFSS.