



Шостко И. С.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СИНХРОННОГО ИСКРОВОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Рассматривается метод синхронизации антенной решетки искровых генераторов-излучателей. Проведен анализ зависимости множителя решетки от времени коммутации разрядников и распределения напряжения на обкладках полосковых излучателей в момент пробоя разрядников. Результаты математического моделирования параметров искровых полосковых излучателей, объединенных в линейную решетку, подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: генератор сверхширокополосных импульсов, сверхширокополосная антенная решетка, генератор импульсов высокого напряжения.

1. Введение

Для проверки эффективности экранирования помещений и оборудования с целью обеспечения информационной безопасности, необходимы простые компактные генераторы электромагнитного излучения, перекрывающие широкий диапазон частот. Учитывая требования к массогабаритным характеристикам, а также тот факт, что применение дорогих и технологически сложных устройств в этом случае нецелесообразно, предлагается с этой целью использовать генераторы мощных сверхширокополосных микроволновых импульсов [1–6].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

К наиболее простым и компактным мощным источникам сверхкоротких (сверхширокополосных) микроволновых импульсов следует отнести полосковый генератор-излучатель, дисковый генератор-излучатель. Принцип действия таких излучателей рассматривался в [1–4]. Ширина диаграммы направленности (ДН) такого излучателя достаточно большая (порядка 60°). Для сужения ДН было предложено объединить такие излучатели в антенную решетку. Основная проблема, возникающая на пути создания решеток на основе искровых излучателей, связана с обеспечением одновременного срабатывания разрядников всех искровых источников. Известные методы решения этой задачи предполагают использование сложных и не всегда надежных схем принудительного поджига за счет применения дополнительного поджигающего электрода, с питанием от независимого источника высокого напряжения [7–9].

В данной работе для обеспечения синхронного запуска искровых генераторов, предлагается подключать элементы антенной решетки по принципу работы электрической цепи умножения напряжения [3]. Этот принцип применяется в генераторах импульсов высокого напряжения, получивших название генератора Аркадьева-Маркса.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс формирования диаграммы направленности антенной решетки искровых генераторов.

Цель работы — анализ диаграммы направленности сверхширокополосной антенной решетки с применением метода синхронного искрового возбуждения элементов.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- провести анализ зависимости множителя решетки от времени коммутации разрядников и распределения напряжения на обкладках полосковых излучателей в момент пробоя разрядников;
- сравнить результаты математического моделирования и экспериментального исследования искровых полосковых излучателей объединенных в линейную решетку.

4. Материалы и методы исследований антенной решетки на основе искровых генераторов-излучателей

Электрическая схема синхронного возбуждения искровых генераторов приведена на рис. 1, где R_0 — зарядные сопротивления, C_{0i} — емкости накопительных конденсаторов генератора импульсных напряжений, L — суммарная индуктивность (накопительный конденсатор и провода), C_{pi} — емкости искровых излучателей (в приведенной схеме на полосковых излучателях это емкости между пластинами полоскового рупора), C_{zi} — паразитные емкости на землю.

Установленные на близком расстоянии друг от друга элементы цепи имеют взаимные емкости C_{zi} , которые в общем случае являются распределенным параметром. В первом приближении будем рассматривать их как множество сосредоточенных емкостей, равномерно расположенных между цепью конденсаторов и землей. В зависимости от конструкции емкость C_{zi} будет меняться примерно от 1,2 до 0,4 пФ. Омическим сопротивлением электродов можно пренебречь по сравнению с омическим сопротивлением искры.

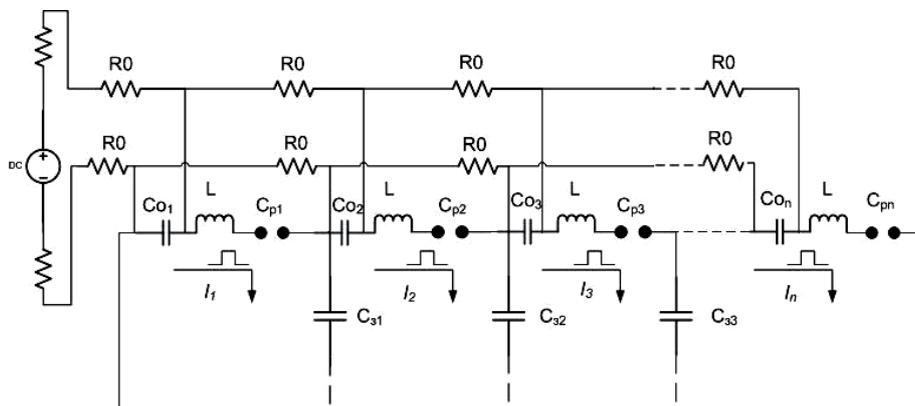


Рис. 1. Электрическая схема синхронного возбуждения искровых излучателей в линейной решетке

Первый разрядник пробивается первым. Для этого в первом каскаде используется конденсатор повышенной емкости или уменьшается величина зазора Δ в разряднике. До пробоя разрядника первого искрового излучателя все искровые промежутки находятся примерно в равных условиях. В результате пробоя первого разрядника происходит перезаряд паразитных емкостей. При этом срабатывание последующих разрядников будет происходить в условиях возникновения перенапряжения. Величина перенапряжения зависит от соотношения емкостей. Так, например величина перенапряжения на втором искровом разряднике после зажигания первого определяется величиной:

$$\Delta U_2 = kU_0 e^{-t/\tau},$$

где k — коэффициент относительной амплитуды перенапряжения, $k = \frac{C_3}{C_3 + C_p}$; U_0 — напряжение источника высокого напряжения; τ — постоянная времени,

$$\tau = \frac{R_0(C_3 + C_p)}{2}.$$

Изменяя параметры конструкции можно менять соотношение емкостей C_3 и C_p , соответственно изменяется коэффициент $k \approx 0,1-1$.

Величина перенапряжения будет возрастать по мере увеличения числа i сработавших разрядников, так при $k \rightarrow 1$:

$$\Delta U_i \approx (i-1)U_0. \tag{1}$$

В связи с этим амплитуда напряжения на обкладках полосковых излучателей в момент пробоя разрядника, будет возрастать вдоль решетки.

Рассмотрим фазовое распределение вдоль решетки излучателей. Запаздывание по фазе излучаемых импульсов определяется в основном временем коммутации разрядников, которое зависит от величины напряженности E в зазорах разрядников [10]. С ростом напряжения и уменьшением зазора разрядника δ величина запаздывания будет уменьшаться. При напряжении на первом каскаде $U = 15$ кВ и зазоре разрядника $\delta = 2$ мм напряженность поля в зазоре составит 75 кВ/см, что обес-

печивает величину запаздывания в первом каскаде $t_k = 2$ нс. В последующих каскадах за счет перенапряжения величина t_k будет происходить уже не случайным образом, а синхронно с первым каскадом. Фазовым распределением можно управлять в небольших пределах, если изменять параметры, влияющие на величину C_3 . Например, если конденсаторы разместить внутри металлической трубы, то можно изменять состав или давление в среде заполняющей пустоты. При уменьшении C_3 , коэффициент относительной

амплитуды перенапряжения уменьшается, ΔU_i на соответствующих разрядниках уменьшится, следовательно, увеличится время t_k .

В свете выявленных закономерностей поведения амплитуды и фазы колебаний рассмотрим особенности формирования ДН рассматриваемой решетки искровых излучателей. Для этого достаточно найти выражение для множителя решетки излучателей.

Будем полагать, что излучатели непрерывно распределены вдоль оси z на отрезке $[-L/2, L/2]$, где L — размер излучающей апертуры (линейной решетки) (рис. 2).

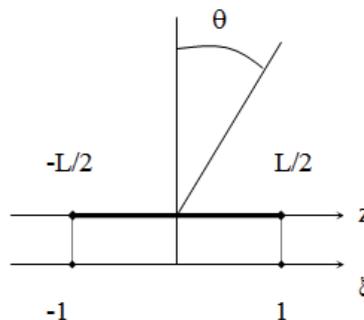


Рис. 2. Линейная решетка искровых излучателей

В системе координат:

$$\xi = \frac{2 \cdot z}{L} \text{ и } \eta = \frac{1}{2} \cdot k \cdot L \cdot \sin \theta, \tag{2}$$

где θ — угол наблюдения.

Множитель линейной решетки запишется в виде:

$$f(\eta) = \frac{L}{2} \int_{-1}^1 A(\xi) \cdot e^{j\theta(\xi)} \cdot e^{j\eta\xi} \cdot d\xi. \tag{3}$$

С учетом вышесказанного будем считать, что:

$$A(\xi) = 1 + \alpha \cdot \xi, \text{ где } |\alpha| \leq 1, \tag{4}$$

где α — коэффициент, характеризующий изменение амплитуды $A(\xi)$ вдоль координаты ξ решетки, а:

$$\phi(\xi) = -\beta \cdot \xi, \quad (5)$$

где β — сдвиг по фазе колебаний на краю решетки по отношению к ее середине за счет запаздывания искровых разрядников.

В результате интегрирования (3) с учетом (4) и (5) получим ненормированный множитель решетки:

$$f(\eta) = L \cdot \frac{\sin(\eta - \beta)}{(\eta - \beta)} - j \frac{L \cdot \alpha}{(\eta - \beta)} \left[\cos(\eta - \beta) - \frac{\sin(\eta - \beta)}{(\eta - \beta)} \right]. \quad (6)$$

Нормированный множитель решетки будет иметь вид:

$$F(\eta) = \frac{|f(\eta)|}{|f_{\max}|} = \left\{ \left[\frac{\sin(\eta - \beta)}{(\eta - \beta)} \right]^2 + \frac{\alpha^2}{(\eta - \beta)^2} \left[\cos(\eta - \beta) - \frac{\sin(\eta - \beta)}{(\eta - \beta)} \right]^2 \right\}^{-\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что ДН решетки искровых излучателей будет иметь максимум при условии:

$$\eta - \beta = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\pi \cdot L}{\lambda} \cdot \sin \theta_{\max} - \beta = 0,$$

$$\text{т. е.} \quad \sin \theta_{\max} = \frac{\lambda \beta}{\pi \cdot L},$$

где θ_{\max} — угловая координата максимума излучения. Максимум ДН оказывается сдвинутым по углу θ

пропорционально величине $\frac{\lambda \beta}{L}$. Чем меньше λ/L , тем

меньше сдвиг диаграммы по углу θ при заданном β . Благодаря наличию второго слагаемого в (7), которое зависит от величины α , ДН не будет иметь нулевых провалов. При $\alpha \rightarrow 0$ получаем обычную диаграмму типа $\sin(\eta)/\eta$ для равномерного амплитудного распределения.

При увеличении β наряду со сдвигом диаграммы по углу θ имеет место некоторое увеличение ширины ДН, а также ее деформация (нарушение симметрии), проявляющаяся в том, что глубина провалов справа и слева, от главного лепестка оказывается разной. При большем линейном размере решетки эти искажения при тех же значениях β оказываются менее заметными. Для снижения влияния величины запаздывания β необходимо повышать напряженность поля в разрядниках и помещать искровые излучатели в диэлектрическую камеру с повышенным давлением газа. С ростом давления время коммутации существенно снижается.

5. Результаты экспериментального исследования антенной решетки полосковых искровых генераторов-излучателей

Для проверки результатов теоретического анализа, а также измерения реальной ДН таких генераторов были созданы макеты 4-х, 5-ти, 6-ти и 9-ти элементных решеток полосковых искровых излучателей [4]. Решетки излучателей изготовлены для двух длин волн: 12 и 20 см. Внешний вид линейной решетки искровых излучателей для $\lambda = 12$ см приведен на рис. 3.

Конструкция решетки искровых излучателей для $\lambda = 20$ см аналогична приведенной на рис. 3 с той лишь разницей, что конденсаторы размещались отдельно от излучателей. Разместить их вдоль одной линии с интервалом $\lambda/2$ не позволяли габариты конденсаторов. В линейке, работающей на длине волны $\lambda = 12$ см, в качестве накопительных конденсаторов использовались конденсаторы КВИ-3 емкостью 470 пФ с предельным напряжением 16 кВ, а в линейке, работающей на длине волны $\lambda = 20$ см, использовались конденсаторы ПКГИ емкостью 3900 пФ с предельным напряжением 25 кВ.

Конструкция решетки излучателей с размещенными вдоль одной линии накопительными конденсаторами и полосковыми излучателями (рис. 3), обеспечивала минимальную индуктивность разрядной цепи, что в свою очередь позволило получить короткие радиоимпульсы длительностью порядка 7 нс.

Зазоры искровых разрядников составляли 2,5–3 мм. Пробой разрядников проходил в воздухе при атмосферном давлении. Полосковые излучатели располагались на расстоянии $\lambda/2$, где λ — длина волны возбуждаемых колебаний.

Источник питающего напряжения обеспечивал получение напряжения в пределах 10–15 кВ. Величина зарядного сопротивления r_0 выбиралась так, чтобы обеспечить частоту срабатывания разрядников порядка 2–3 Гц.

Измерения ДН проводились в безэховой камере. Габариты камеры позволяли устанавливать решетки искровых излучателей на расстоянии до 6 метров от приемного рупора П6-23А, что обеспечивало его нахождение в дальней зоне по отношению к излучающим решеткам.

Принятые рупором П6-23А радиосигналы непосредственно использовались для запуска осциллографа С7-10Б, а прошедшие через кабельную линию задержки ($\tau_{\text{зад}} = 120$ нс) фиксировались на экране осциллографа. Схема измерения ДН линейной решетки искровых излучателей приведена на рис. 4, где 1 — осциллограф С7-10Б; 2 — приемный рупор П6-23А; 3 — кабельная линия задержки; 4 — поворотная платформа; 5 — линейная решетка искровых излучателей.

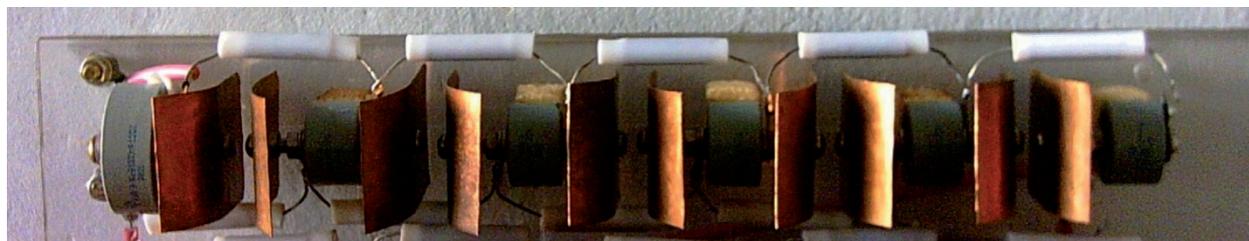


Рис. 3. Внешний вид пятиэлементной линейной решетки искровых излучателей для $\lambda = 12$ см

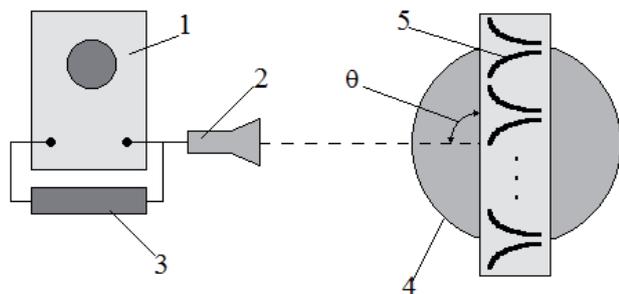


Рис. 4. Схема измерения ДН линейной решетки искровых излучателей

Исследуемые решетки располагались на поворотном устройстве, что позволяло снимать ДН в диапазоне углов θ от 0° до 360° . Результаты измерений ДН для 5 элементной решетки представлены на рис. 5. На этом же рис. 5 приведена теоретическая кривая нормированного множителя 5-ти элементной решетки искровых излучателей, описываемая выражением (7) для значений $\beta = 0, \alpha = 1, L = 2\lambda$.

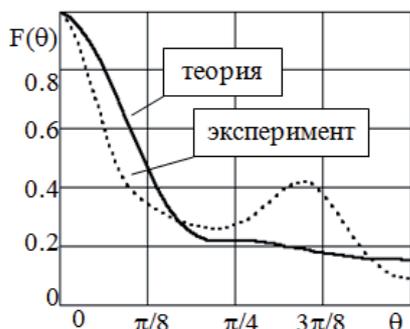


Рис. 5. Нормированная ДН 5-ти элементной линейной решетки искровых излучателей

Таким образом, наблюдается достаточно хорошее совпадение максимумов ДН, измеренной экспериментальной и теоретической кривой.

6. Обсуждение результатов испытаний линейной решетки искровых генераторов-излучателей

В исследуемой конструкции линейной решетки искровых излучателей величина запаздывания по фазе $\beta = 0$. Характерно отсутствие нулевых провалов в диаграмме, что следует из (7) и является следствием нарастания амплитуды колебаний вдоль решетки. Наличие в экспериментальных измерениях бокового лепестка с максимумом в районе $\theta = 60^\circ$ можно объяснить влиянием краевых эффектов, которые при проведении расчетов ДН линейной решетки искровых излучателей не учитывались. Искажения ДН, обусловленные влиянием запаздывания момента коммутации разрядников, могут быть существенно снижены за счет повышения давления газа в разрядной камере и увеличения отношения L/λ .

7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Разработан метод синхронного искрового возбуждения элементов сверхширокополосной антенной

решетки. В результате применения этого метода увеличился коэффициент направленного действия и мощность излучения сверхширокополосной антенной решетки, построенной на основе искровых генераторов-излучателей. Это, в свою очередь, свидетельствует о наличии когерентного сложения колебаний искровых излучателей в линейной решетке.

2. Разработана математическая модель процесса формирования диаграммы направленности сверхширокополосной антенной решетки с учетом влияния времени коммутации разрядников и распределения напряжения на обкладках полосковых излучателей.

3. Результаты теоретического анализа искровых полосковых излучателей, объединенных в линейную решетку, подтверждены результатами экспериментального исследования.

Литература

1. Грачев, К. П. Искровой сверхвысокочастотный генератор-излучатель высокой пиковой мощности [Текст] / К. П. Грачев, Н. Н. Грицов, И. И. Есаков, К. В. Ходатаев // Радиотехника и электроника. — 1994. — Вып. 12. — С. 2044–2049.
2. Шостко, И. С. Дисктовый искровой генератор СВЧ импульсов наносекундной длительности [Текст] / И. С. Шостко, С. Н. Шостко, Е. А. Авчинников, В. П. Гулак // Прикладная радиоэлектроника. — 2002. — № 1, Т. 1. — С. 104–107.
3. Шостко, И. С. Синфазная решетка искровых излучателей [Текст] / И. С. Шостко, С. Н. Шостко // Прикладная радиоэлектроника. — 2004. — Т. 2, № 3. — С. 91–93.
4. Шостко, И. С. Экспериментальное исследование диаграмм направленности линейных решеток искровых излучателей [Текст] / И. С. Шостко, С. Н. Шостко, Е. А. Авчинников, В. П. Гулак // Прикладная радиоэлектроника. — 2005. — № 2. — С. 246–248.
5. Efremov, A. M. Generation and radiation of high-power ultrawideband nanosecond pulses [Text] / A. M. Efremov, V. I. Koshchev, B. M. Koval'chuk, V. V. Plisko, K. N. Sukhushin // Radiotekhnika i Elektronika. — 2007. — Vol. 52, № 7. — P. 813–821.
6. Chavka, G. G. Ultrawideband planar antennas and antenna arrays [Text] / G. G. Chavka // Proceedings of the 6th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. — Sevastopol: Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2012. — P. 9–14. doi:10.1109/uwbusis.2012.6379719
7. Месяц, Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов [Текст] / Г. А. Месяц. — М.: Сов. Радио, 1974. — 256 с.
8. Бурцев, В. А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках [Текст] / В. А. Бурцев, Н. В. Калинин, А. В. Лучинский. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
9. Месяц, Г. А. Техника формирования высоковольтных наносекундных импульсов [Текст] / Г. А. Месяц, Г. А. Воробьев. — М.: Госатомиздат, 1963. — 167 с.
10. Мик, Дж. Электрический пробой в газах [Текст]: пер. с англ. / Дж. Мик, Дж. Крэгс; под ред. В. С. Комелькова. — М.: Изд. иностранной литературы, 1960. — 605 с.

РОЗРОБКА МЕТОДУ СИНХРОННОГО ІСКРОВОГО ЗБУДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НАДШИРОКОСМУГОВОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

Розглядається метод синхронізації антенної решітки іскрових генераторів-випромінювачів. Проведено аналіз залежності множника решітки від часу комутації розрядників і розподілу напруги на обкладках поздовжніх випромінювачів в момент пробою розрядників. Результати математичного моделювання

параметрів іскрових положкових випромінювачів, що об'єднані в лінійну решітку, підтвержені результатами експериментальних досліджень.

Ключові слова: генератор надширокопasmових імпульсів, надширокопasmова антена решітка, генератор імпульсів високої напруги.

Шостко Игорь Светославович, доктор технических наук, доцент, кафедра телекоммуникационных систем, Харьков-

ский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: igor-shostko@yandex.ru.

Шостко Игор Светославович, доктор технических наук, доцент, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина.

Shostko Igor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: igor-shostko@yandex.ru

УДК 629.113

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41344

Горбунов А. П.

МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ ПІД УПРАВЛІННЯМ АБС В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK

Одним з найважливіших властивостей автомобіля є гарне функціонування гальмівної системи в екстремальних ситуаціях і наявність активних систем безпеки. У роботі розглядається пневматична гальмівна система під управлінням АБС, яка часто встановлюється на автобусах і вантажних автомобілях. Її моделювання проводиться на графічному інтерфейсі користувача MATLAB в середовищі SIMULINK, і по суті є засобом візуального програмування.

Ключові слова: гальмівна система автомобіля, АБС, MATLAB, SIMULINK.

1. Вступ

Одним з найважливіших критеріїв вибору автомобіля є його безпека в питаннях керованості, та гарне функціонування гальмівної системи. В свою чергу удосконалення автомобіля включає не тільки підвищення потужності двигуна, покращення дизайну кузова чи салону, воно вимагає також підвищення надійності органів керування, в тому числі, за рахунок застосування систем активної безпеки, а саме: антиблокувальної системи (АБС).

Основне призначення АБС — забезпечення оптимальної гальмівної ефективності (мінімального гальмівного шляху) при збереженні стійкості і керованості автомобіля. Антиблокувальною системою називають групу пристроїв, які втручаються в керування гальмівною системою автомобіля, запобігають блокуванню коліс і тим самим знижують небезпеку втрати керованості автомобіля. Антиблокувальні гальмівні системи сприяють збереженню керованості автомобіля і зменшують гальмівний шлях у більшості реальних ситуацій, особливо на мокрій або слизькій дорозі.

У роботі, на прикладі розрахунку пневматичної гальмівної системи, що є найбільш розповсюдженою і найчастіше встановлюється на автобусах та вантажних автомобілях, проводиться визначення основних динамічних та технічних параметрів АБС.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізуючи розвиток конструкції автомобіля, можна відзначити значні досягнення наукової думки, в плані вдосконалення існуючих і створення нових систем активної безпеки автомобіля. Такі системи активної безпеки,

як антиблокувальна система, протиблокувальна система, система електронної стабілізації автомобіля, система підрулювання задніми колесами та інші, істотно підвищили рівень стійкості і керованості колісних транспортних засобів. Кожна з таких систем вносить свою частку в підвищення активної безпеки автомобіля. Ці системи постійно перебувають у полі зору дослідників, які постійно працюють над поліпшенням алгоритмів їхнього керування [1–4].

Пакет розширення SIMULINK системи MATLAB є ядром інтерактивного програмного комплексу, призначеного для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем і пристроїв, представлених своєю функціональною блок-схемою. Для побудови функціональної блок-схеми пристроїв SIMULINK має велику бібліотеку блокових компонентів і редактор блок-схем. Він заснований на графічному інтерфейсі користувача і по суті є засобом візуально-орієнтованого програмування [5].

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є процеси гальмування автомобіля, обладнаного АБС. Метою статті є розгляд підходів до можливості моделювання й визначення основних динамічних і технічних параметрів АБС гальм автомобіля в середовищі моделювання MATLAB SIMULINK.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- опрацювати математичні алгоритми функціонування АБС автомобіля;
- підібрати програмне середовище, в якому можливо модулювати роботу АБС автомобіля;
- створити модель гальмівної системи автомобіля під управлінням АБС.