

ВИБІР ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕНАПРУГ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ПРИЙОМУ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Коновчук І. О., магістрант, Шостак В. О., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Для захисту мереж вимірювання та передачі даних від перенапруг застосовують елементи різних типів: розрядники, варистори, захисні діоди, захисні конденсатори [1]. Використовують як одиночні елементи захисту, так і каскадні схеми [2] (наприклад, розрядник-варистор-діод). Методика вибору захисних елементів (пристроїв захисту від імпульсних перенапруг, ПЗІП) залежить від характеристик обраних об'єктів, приєднаних мереж, очікуваних небезпечних впливів та параметрів самих ПЗІП. Наприклад, у [3] аналізується здатність варисторів та трубчатих газових розрядників виступати в ролі пристроїв захисту від перенапруги для чутливих детекторів. Важливим також є питання перевірки практичних характеристик ПЗІП. Наприклад, у [4] обговорюються параметри пристрою для таких тестів, що генерує грозові імпульси 1.2/50 та 8/20 мкс, а також постійну складову напруги.

У даній роботі ставилася задача розвитку підходу до вибору схем захисту для широко розповсюджених пристроїв прийому та передачі даних – ТВ-тюнера та роутера Wi-Fi. Це включає аналіз варіантів схем з використанням засобів захисту різних типів – розрядників, варисторів, захисних діодів та конденсаторів. Для аналізу застосовувалося моделювання у схемотехнічному пакеті. Остаточно вибрані компоненти захисту перевірялися за умовою не перевищення їх критичних параметрів.

Мета роботи: 1) Вибір схем захисту для роутера Wi-Fi та ТВ-тюнера і моделювання їх роботи за допомогою схемотехнічного пакету. 2) Порівняння ефективності застосування одиночних елементів захисту та каскадних схем захисту.

Матеріали і результати досліджень. Моделювання схем захисту проводилося у схемотехнічному пакеті «Micro-Cap 11.0.1.9». Усі моделі елементів та моделі об'єктів було взято з цього ж програмного забезпечення. У якості об'єктів використано типові ТВ-тюнер та Wi-Fi роутер [5]. Ці об'єкти при моделюванні підключення їх до кабельної мережі представлено вхідними активними опорами, які відповідають значенням 200 та 300 Ом (середні значення для різних моделей тюнерів та роутерів).

Характеристики деяких захисних елементів, які використовують у схемах захисту, наведено у [6-12].

Також потрібно звернути увагу на кабелі для передачі сигналів до пристроїв. У даній роботі було використано два типи кабелю, характеристики яких наведено у таблиці 1, згідно даних [13, 14]. При моделюванні прийнято наближення, при якому кабелі представлено зосередженими елементами.

Спочатку проводилося моделювання схем з одиночними елементами захисту. На рис. 1 зображено відповідну схему для варіанту використання захисного конденсатора в схемі захисту тюнера. Для кабелю «вита пара» Cat.5

взято довжину 10 м. Відповідно індуктивність кабелю становить 5250 нГн, а активний опір – 1.88 Ом. Робоча напруга кабелю 57 В (її дія представлена джерелом V3). Сигнал імпульсної перенапруги має амплітуду 1.5 кВ (джерело V2, 5/50 нс)[5].

Таблиця 1 – Характеристики кабелів

Кабель	Макс. робоча напруга DC, В	Робоча напруга, В	Робочий струм, А	Індуктивність погонна, нГн/м	Активний опір погонний, Ом/м
«Вита пара» Cat.5	125	57	0.577	525	0.188
RG-6U	200	75	0.6	258	0.176

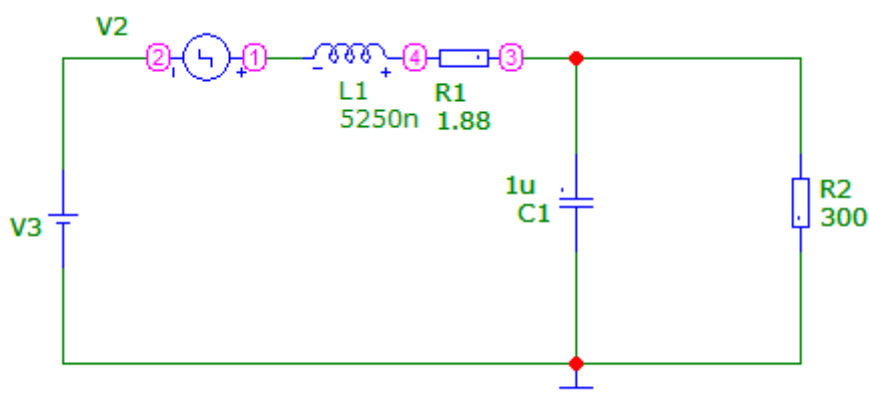


Рисунок 1 – Схема захисту з конденсатором для Wi-Fi роутера: V3 – джерело постійної напруги, 57 В; V2 – джерело імпульсної напруги, 1.5 кВ; R1 – опір кабелю, 1.88 Ом; R2 – опір об’єкта, 300 Ом; L1 – індуктивність кабелю 5250 нГн; C1 – конденсатор, 1 мкФ

Отримані результати зміни напруг у вузлах 1, 2, 3 представлено на рис. 2. Результати для всіх проаналізованих схем з одинарними елементами захисту зведено до табл. 2. В ній прийнято позначення U_{\max} для розрахованої при моделюванні максимальної напруги на об’єкті та захисному елементі.

Як згадувалося, для роутера досліджувалася ситуація з використанням кабелю «вита пара» категорії 5 (Cat. 5). Значення напруг U_{\max} на об’єкті становили 100 В – коли захисний елемент це розрядник типу CITEL BA75, 178 В – варистор типу V33MLA1206, 240 В – діод типу ZHCS1000, 110 В – захисний конденсатор з ємністю 1 мкФ. Найкращий захист за рівнем напруги серед розглянутих елементів дає розрядник типу CITEL BA75 із значенням $U_{\max} = 100$ В, оскільки це значення найбільш наближене зверху до номінальної напруги джерела – 57 В.

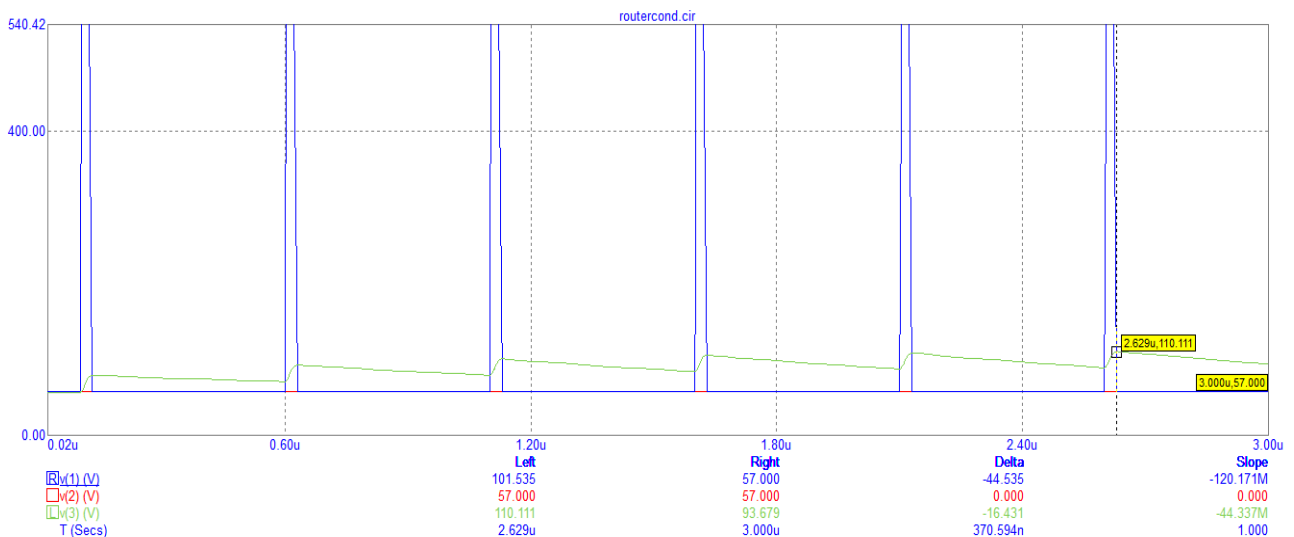


Рисунок 2 – Результати моделювання для схеми захисту з конденсатором для Wi-Fi роутера: V1 – напруга на імпульсному джерелі (1.5 кВ), V2 – напруга на джерелі 57 В, V3 – напруга на об’єкті (максимальне значення на першому періоді – 78 В, на шостому – 110 В)

Таблиця 2 – Результати моделювання для схем з одиночними елементами захисту

Захисний елемент (ЗЕ)	ТВ-тюнер		Wi-Fi роутер	
	Модель ЗЕ	U_{max} , В	Модель ЗЕ	U_{max} , В
Розрядник	CITEL BA90	152	CITEL BA75	100
Варистор	V30MLA1210	217	V33MLA1206	178
Діод	R711XPT	120	ZHCS1000	240
Конденсатор	0.4 мкФ	148	1 мкФ	110

Дослідження для тюнера супутникового телебачення проводилося для випадку використання коаксіального кабелю RG-6U. Максимальні значення напруг на об’єкті досягли 152 В – для розрядника типу CITEL BA90, 217 В – для двох паралельних варисторів типу V30MLA1210, 120 В – для діода типу R711XPT, 148 В – для захисного конденсатора ємністю 0.4 мкФ. У цьому випадку найкраще обмеження короткотривалих перенапруг на об’єкті дає діод типу R711XPT (120 В).

Для захисту від перенапруг також використовують каскадні схеми, які включають в себе декілька одиночних елементів захисту. Приклад розглянутої моделі для каскадної схеми «розрядник-варистор-діод» представлено на рис. 3. Об’єктом є роутер Wi-Fi. В схемі також використано джерела постійної (57 В) та імпульсної напруг (1.5 кВ), а також три відрізки кабелю типу «вита пара» Cat.5 (див. табл. 1): 10 м (5250 нГн, 1.88 Ом), 8 м (4200 нГн, 1.504 Ом) та 6 м (3150 нГн, 1.128 Ом).

Результати для всіх проаналізованих каскадних схем захисту для двох об’єктів зведено до табл. 3. Для тюнера у каскадних схемах захисту враховано використання коаксіального кабелю RG-6U. Кращий захист для даного об’єкту

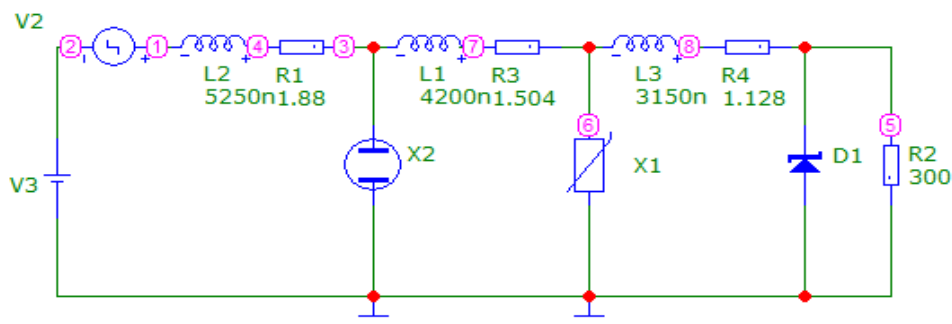


Рисунок 3 – Каскадна схема захисту «розрядник-варистор-діод» Wi-Fi роутера: V3 – джерело постійної напруги, 57 В; V2 – джерело імпульсної напруги, 1.5 кВ; параметри кабелів – R1 = 1.88 Ом, R3 = 1.504 Ом, R4 = 1.128 Ом, L1 = 5250 нГн, L2 = 4200 нГн, L3 = 3150 нГн; R2 = 300 Ом – опір об’єкта; X1 – варистор V33MLA1206; X2 – розрядник CITEL BA75; D1 – діод ZHCS1000

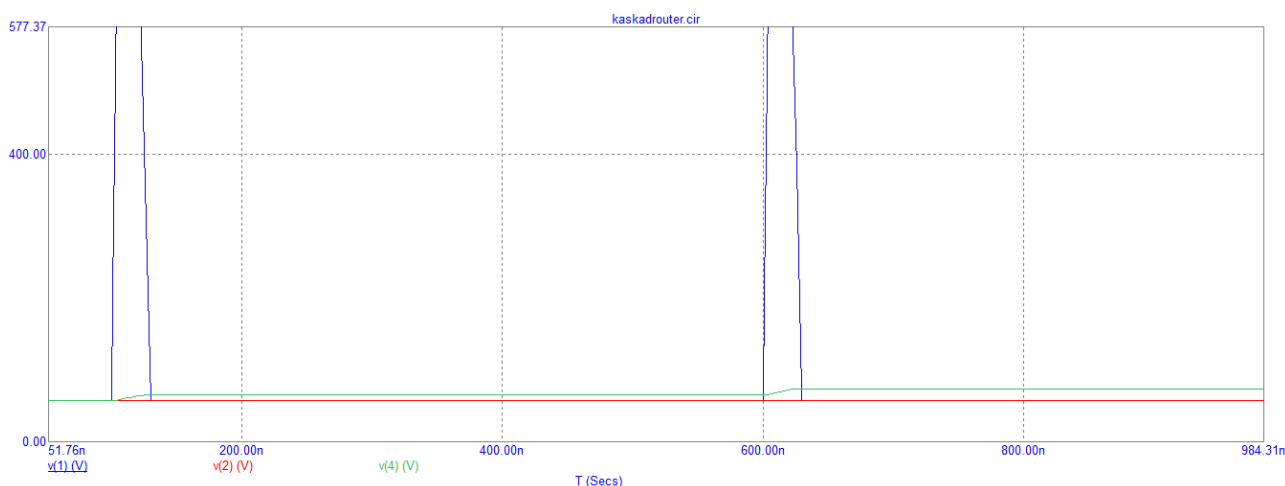


Рисунок 4 – Результати моделювання для схеми «розрядник-варистор-діод» на рис. 3: V1 – напруга на імпульсному джерелі (максимальне значення 1.5 кВ); V2 – напруга на джерелі 57 В; V4 – напруга на об’єкті ($U_{\max} = 73.3$ В)

Таблиця 3 – Результати моделювання для каскадних схем захисту

Схема захисту (СЗ)	ТВ-тюнер		Wi-Fi роутер	
	Модель СЗ	U_{\max} , В	Модель СЗ	U_{\max} , В
Варистор-діод	V30MLA1210-R711XPT	100	V33MLA1206-ZHCS1000	60.45
Варистор-діод-конденсатор	V30MLA1210-R711XPT-0.4мкФ	75.8	V33MLA1206-ZHCS1000-1мкФ	57.9
Розрядник-варистор-діод	CITEL BA90-V30MLA1210-R711XPT	95.8	CITEL BA75-V33MLA1206-ZHCS1000	73.3

забезпечує схема «варистор-діод-конденсатор» із значенням $U_{max} = 75.8$ В, що найбільш наближене до номінального значення напруги джерела – 75 В. Хоча можна зазначити, що дві інші схеми теж дають добрий захист.

Як згадувалося, для роутера в схемах використано кабель «вита пара» категорії 5. Кращий захист забезпечує теж схема «варистор-діод-конденсатор» із значенням $U_{max} = 57.9$ В, яке є найближчим до номінальної напруги джерела – 57 В.

Важливим моментом при виборі захисних елементів є перевірка струму, який проходить через них. Тобто струм не повинен перевищувати гранично допустимих рівнів, щоби сам елемент захисту не пошкодився. Інколи у якості критичних параметрів аналізують також напругу та/або енергію, яка виділяється у елементі. Деякі допустимі параметри для захисних елементів, які використовувались у роботі, представлено у табл. 4, складеній згідно [11, 12]. Продемонструємо перевірку вибраних захисних елементів на прикладі моделювання схеми з захисними діодами ZHCS1006 та ZHCS2000 (рис. 5). Відповідні результати моделювання представлено на рис. 6 та 7.

Таблиця 4 – Гранично допустимі параметри захисних елементів

Захисний елемент	I_{max} , А	U_{max} , В
CITEL BA90	2500	700
CITEL BA75	2500	640
V30MLA1210	280	150
V33MLA1206	180	140
R711XPT	30	100
ZHCS1000	25	85
ZHCS1006	25	100
ZHCS2000	10	140

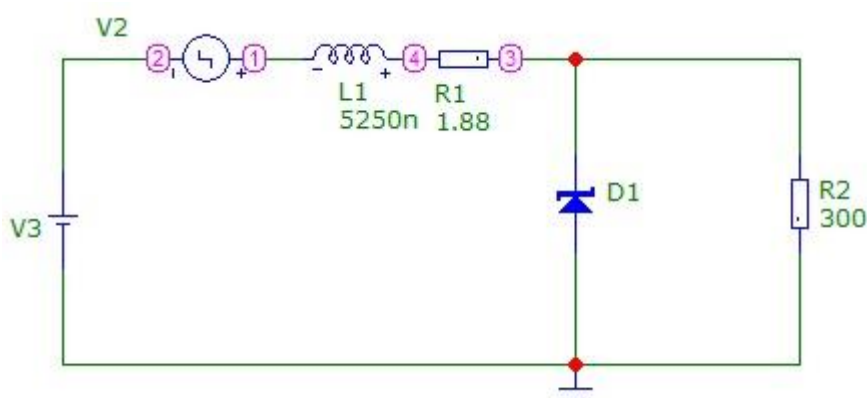


Рисунок 5 – Схема захисту з одним діодом для роутера:

V3 – джерело постійної напруги, 57 В; V2 – джерело імпульсної напруги, 1.5 кВ; R1 – опір кабелю, 1.88 Ом; R2 – опір об’єкта, 300 Ом; L1 – індуктивність кабелю, 5250 нГн; D1 – захисний діод (ZHCS1006 або ZHCS2000)

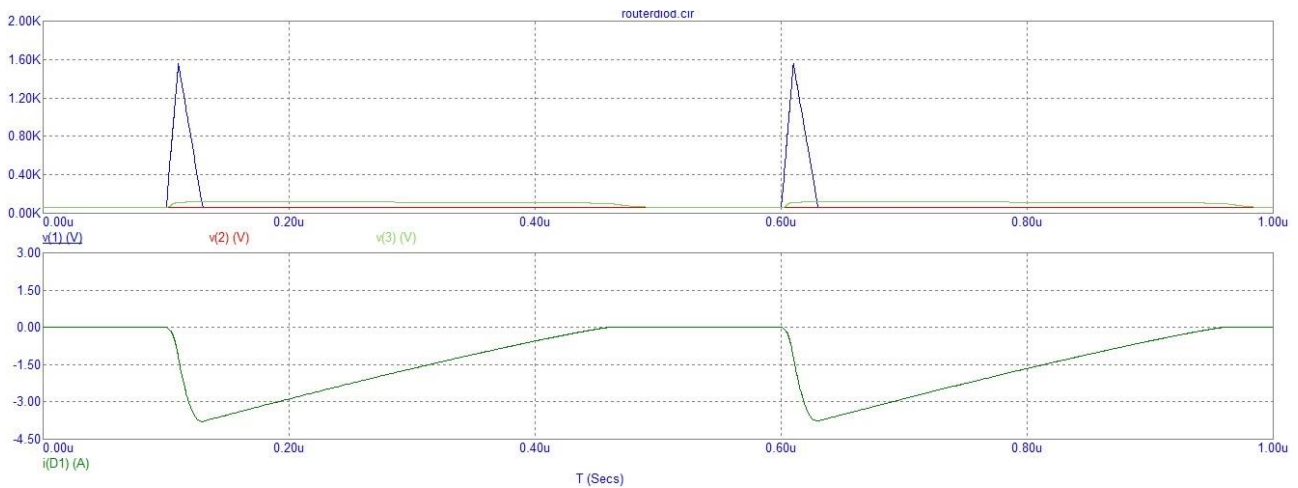


Рисунок 6 – Результати для схеми на рис. 5 із захисним діодом ZHCS1006: V1 – напруга на імпульсному джерелі; V2 – напруга на джерелі постійної напруги; V3 – напруга на об’єкті; I(D1) – струм через діод



Рисунок 7 – Результати для схеми на рис.5 із захисним діодом ZHCS2000: V1 – напруга на імпульсному джерелі; V2 – напруга на джерелі постійної напруги; V3 – напруга на об’єкті; I(D1) – струм через діод

З результатів моделювання видно, що для заданих параметрів впливу (в т.ч. тривалості та періоду імпульсів) струм через діод типу ZHCS1006 залишається стабільним, а через діод типу ZHCS2000 струм зростає з кожним періодом, хоча в обох випадках значення допустимих напруг на об’єкті не перевищують допустимих значень. Ця відмінність може бути пов’язана із суттєво різними значеннями власних ємностей двох діодів – 130 пФ (ZHCS1006) та 370 пФ (ZHCS2000). У випадку з ZHCS1006 максимальний струм через ЗЕ становив 3.7 А, а у випадку з ZHCS2000 – 14 А (на 5 періоді, хоча допустиме значення було перевищено вже на 3 періоді). Таким чином, відповідно до максимальних допустимих значень струму I_{max} у табл. 4, в зазначеній схемі захисту діод ZHCS2000 може бути пошкоджений, в той час як діод ZHCS1006 може працювати з хорошим запасом.

Висновок. В роботі продемонстровано підхід щодо вибору і аналізу шляхом моделювання в схемотехнічному пакеті схем захисту від перенапруг для широко розповсюджених пристроїв прийому та передачі даних (Wi-Fi роутер, ТВ-тюнер). Підібрано відповідні елементи захисту. Проведено порівняння ефективності захисту за допомогою вибраних схем для варіантів використання різних одиночних елементів захисту та каскадних схем (табл. 2 та 3). Звичайно, загально каскадні схеми захисту є ефективнішими – в них короткотривалі перевищення максимальних напруг над номінальними значеннями напруг на об'єктах є меншими. Але і вибрані схеми з одиночними елементами можуть забезпечувати надійний захист. Звернуто увагу на важливість кінцевої перевірки реальних навантажень вибраних засобів захисту за критерієм не перевищення гранично допустимих для них параметрів (струмів, напруг, енергії). В подальшому доцільно розвинути ці дослідження для різних параметрів імпульсних впливів та точніших моделей схем захисту.

Перелік посилань

1. ДСТУ 3680-98 (ГОСТ 30586-98) Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Методи захисту.
2. Молниезащита на ZANDZ.RU. Классический состав защитного каскада: http://www.zandz.ru/biblioteka/vybor_uzip/klassicheskiy_sostav_zashchitnogo_kaskada.html
3. J. Asaadi, J.M. Conrad, S. Gollapinni, B.J.P. Jones, H. Jostlein, J.M. St. John, T. Strauss, S. Wolbers, J. Zennamo. Testing of High Voltage Surge Protection Devices for Use in Liquid Argon TPC Detectors. Preprint, June 2013, pp. 4-14. [lss.fnal.gov/archive/2014/pub/fermilab-pub-14-194-e.pdf](http://www.lss.fnal.gov/archive/2014/pub/fermilab-pub-14-194-e.pdf)
4. Chao Long, Wen-jun Zhou, Lei Wang, Si-jia Lao, Jian-hui Yu, Ling Qiu, Xiao Yi. A new portable test system for surge protective device. *Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Beijing, China, 12-16 April 2010. DOI: [10.1109/APEMC.2010.5475660](https://doi.org/10.1109/APEMC.2010.5475660), <https://ieeexplore.ieee.org/document/5475660/metrics#metrics>
5. Коновчук І. О. Засоби захисту мереж вимірювання та передачі даних від перенапруг. Дипл. роб., бакалавр, 6.050701 «Електротехніка та електротехнології». – Київ: НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, 2018, с. 28-30.
6. Газові розрядники: <http://www.poligon.info/content/articles/gas-discharge-tube.php>, http://www.poligon.info/catalog/index.php?SECTION_ID=4972
7. Варисторы: Обозначение, параметры и применение варисторов: <http://go-radio.ru/varistor.html>
8. Діоди, стабілітрони: Захисні діоди TRANSIL, TVS і TRISIL <http://ua.nauchebe.net/2012/09/diodi-transil-tvs-i-trisil/>
9. Захисні конденсатори: http://cxema.my1.ru/publ/teorija/spravochnye_materialy/kondensatory_zas_hhitnye_germetichnye_kz/51-1-0-4207
10. Мережеві фільтри та конденсатори: <http://bsvi.ru/setevye-filtry-i-pomexopodavlyayushhie-kondensatory/>
11. Каталоги захисних елементів: 2-Element Surge Arrester Gas Discharge Tubes BA <http://pribor-systems.ru/fromoremax/PDF/Citel/ba.pdf>
12. Каталоги захисних елементів Littelfuse: Metal-Oxide Varistors (MOVs) – Surface Mount Multilayer Varistors (MLVs) – MLA Series: https://eu.mouser.com/datasheet/2/240/Littelfuse_Varistor_MLA_Datasheet.pdf-357296.pdf
13. RG-6U Cable: <https://en.wikipedia.org/wiki/RG-6>
14. «Витая пара» кабель cat. 5: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кабель_категории_5