

Метрологія та стандартизація

The background of the cover is a dark blue globe. Overlaid on the globe is a complex network of glowing green and light blue lines, resembling a fiber optic network or a data transmission system. The lines are curved and crisscross the globe, creating a sense of global connectivity and technology.

Лабораторний практикум

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
з навчальної дисципліни

"Метрологія та стандартизація"

для студентів спеціальностей
«Телекомунікації і радіотехніка»,
«Метрологія, інформаційно-вимірвальна техніка»

Чернівці

ЧНУ ім. Юрія Федьковича 2022

УДК 006.91:378(075)

ББК 31.22я73

К66

Рекомендовано Вченою Радою Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету

імені Юрія Федьковича

(Протокол № 1 від 31.09.2022)

Укладачі:

Стринадко Мирослав Танасійович, канд. фіз.-мат. наук, доц.

Фесів В'ячеслав Ігорович.

К66 Стринадко М.Т., Фесів В.І. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з навчальної дисципліни “Метрологія та стандартизація”. Чернівці: Чернівецький національний Університет імені Юрія Федьковича, 2022. – 105 с.

Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з навчальної дисципліни “Метрологія та стандартизація” для студентів усіх форм навчання спеціальностей “Метрологія, інформаційно-вимірювальна техніка”, “Телекомунікації та радіотехніка”.

УДК 006.91:378(075)

© Чернівецький національний
університет імені Юрія Федьковича.

Зміст

Лабораторна робота №1. Вимірювання пропускну здатності мережі	5
Лабораторна робота №2. Дослідження режимів роботи випрямного пристрою	43
Лабораторна робота №3. Дослідження трифазних схем випрямлячів.....	64
Лабораторна робота №4. Дослідження однофазних керованих і некерованих випрямлячів	83
Література	104

Лабораторна робота №1. “Вимірювання пропускної здатності мережі”

Мета роботи.

Оволодіти навиками роботи із програмним забезпеченням для вимірювання пропускної здатності мережі (Iperf, SpeedTest).

Обладнання.

Персональний комп'ютер з доступом до інтернету. Програмне забезпечення для вимірювання пропускної здатності мережі. Утиліта iperf.

Завдання.

1. Провести вимірювання пропускної здатності мережі за допомогою програми iperf з заданими викладачем параметрами. (Наприклад, мережі на серверах «Воля Київ», «Астра Львів»). Повторити вимірювання при навантаженні мережі. Отримані дані звести у таблицю та побудувати графіки. Провести порівняльний аналіз вимірюваних даних. Написати висновки по виконаній роботі.
2. Провести тестування мережі на інтернет-ресурсі “SpeedTest”. За допомогою консольної команди TRACERT визначити шлях надходження даних від інтернет-ресурсу.
3. Оформити протокол вимірювання параметрів та розрахунку показників якості передачі та доступу до Інтернет телекомунікаційної мережі.
4. Оформити звіт.

1. Теоретичні положення.

1.1. Короткий опис утиліти iperf

Iperf — це інструмент для вимірювання та налаштування продуктивності мережі. Це міжплатформний інструмент, який може виробляти стандартизовані вимірювання продуктивності для будь-якої мережі. Iperf має функції клієнта та сервера та може створювати потоки даних для вимірювання пропускної здатності між двома кінцями в одному чи обох напрямках.

Типовий вихід `iperf` містить звіт із міткою часу про кількість переданих даних і виміряну пропускну здатність.

Потоки даних можуть бути протоколом керування передачею (TCP) або протоколом дейтаграм користувача (UDP):

UDP: якщо використовується для тестування пропускну здатності UDP, `iperf` дозволяє користувачеві вказати розмір дейтаграми та надає результати щодо пропускну здатності дейтаграми та втрати пакетів.

TCP: якщо використовується для тестування пропускну здатності TCP, `iperf` вимірює пропускну здатність корисного навантаження. `Iperf` використовує 1024×1024 для мегабайтів і 1000×1000 для мегабайтів.

Опції клієнта:

- b - використовується смуга для UDP (за замовчуванням 1Mbit / сек);
- c - запустити як клієнт і з'єднатися з сервером;
- d - тестувати лінію в обидві сторони;
- n - встановити розмір переданого трафіку (не можна використовувати з ключем -t);
- r - проводити двонаправлене тестування окремо;
- t - вказати час тестування (за замовчуванням 10 сек);
- F - НЕ генерувати трафік, а передавати готовий файл;
- I - введення даних, що передаються з STDIN (стандартний потік введення);
- L - порт, на якому клієнт буде приймати двонаправлений трафік;
- P - запуск декількох потоків паралельно;
- T - час життя пакета для групової розсилки (за замовчуванням 1); Загальні опції:
- f - в якому форматі показувати швидкість (Kbits, Mbits, KBytes, Mbytes);
- i - з якими інтервалами відображати проміжні результати;
- l - розмір буфера (за замовчуванням 8 KB);
- m - показувати максимальний розмір TCP сегмента (MSS);
- p - вказати порт, по якому буде відбуватися з'єднання (за замовчуванням 5001);
- u - використовувати UDP замість TCP;
- w - розмір вікна TCP;

- В - вказівка для сервера, на якому інтерфейсі приймати трафік;
- С - режим сумісності зі старими версіями;
- М - дозволяє змінити максимальний розмір TCP сегмента (MSS);
- N - змінює деякі опції TCP (відключення алгоритму Нагла);
- V - використовувати IPv6;
- h - довідка.

Після завершення тестування отримуємо чотири колонки результату :

- **ID** – номер паралельного потоку передачі
- **Interval** - визначає час проведення тестування для потоку
- **Transfer** – об’єм даних що передався при тестуванні
- **Bandwith** – пропускна здатність мережі

```
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
(c) Корпорація Майкрософт (Microsoft Corp.), 2009. Все права захищені.
C:\Users\User>cd C:\iperf
C:\iperf>iperf -c iperf.eenet.ee -P 4 -t 5
-----
Client connecting to iperf.eenet.ee, TCP port 5001
TCP window size: 208 KByte (default)
-----
[ 61] local 192.168.0.101 port 1950 connected with 193.40.55.7 port 5001
[ 41] local 192.168.0.101 port 1948 connected with 193.40.55.7 port 5001
[ 31] local 192.168.0.101 port 1947 connected with 193.40.55.7 port 5001
[ 51] local 192.168.0.101 port 1949 connected with 193.40.55.7 port 5001
-----


| ID    | Interval     | Transfer    | Bandwidth      |
|-------|--------------|-------------|----------------|
| [ 51] | 0.0- 5.1 sec | 3.62 MBytes | 6.02 Mbits/sec |
| [ 41] | 0.0- 5.1 sec | 3.38 MBytes | 5.59 Mbits/sec |
| [ 61] | 0.0- 5.1 sec | 4.38 MBytes | 7.20 Mbits/sec |
| [ 31] | 0.0- 5.1 sec | 4.25 MBytes | 6.94 Mbits/sec |
| [SUM] | 0.0- 5.1 sec | 15.6 MBytes | 25.5 Mbits/sec |


```

1.2. Мережева діагностика командою tracert

Команда **tracert** – це один із найбільш часто використовуваних інструментів для траблшутингу та мережевої діагностики, ця утиліта дає нам можливість визначити маршрут, за яким проходить пакет до заданого вузла. Tracert може працювати як з доменними іменами або іменами хостів, так і з IP-адресами (як з IPv4, так і з IPv6).

```

Command Prompt

C:\>cd temp

C:\temp>tracert google.com

Tracing route to google.com [2607:f8b0:4009:812::200e]
over a maximum of 30 hops:

  1   5 ms   4 ms   5 ms   2601:805:8301:ad51:22f1:9eff:fef0:b596
  2  13 ms  22 ms  13 ms   2001:558:40a2:2e::1
  3  14 ms  12 ms  11 ms   be97-sur03.noblesville.in.indiana.comcast.net [2001:558:302:106::1]
  4  15 ms  14 ms  13 ms   2001:558:3b0:2e::1
  5  26 ms   *     *     2001:558:300:2003::1
  6   *     *     *     Request timed out.
  7   *     28 ms  *     be-10588-pe04.350ecermak.il.ibone.comcast.net [2001:558:0:f8cc::2]
  8  26 ms  27 ms  25 ms   2001:559::10be
  9  25 ms  24 ms  24 ms   2607:f8b0:8000:258::1:1
 10 26 ms  26 ms  25 ms   2001:4860:0:1::2168
 11 25 ms  26 ms  25 ms   2001:4860:0:100d::f
 12 28 ms  25 ms  25 ms   2001:4860::c:4000:d2a0
 13 26 ms  25 ms  27 ms   2001:4860::9:4000:eec9
 14 25 ms  25 ms  27 ms   2001:4860:0:1::1d6f
 15 25 ms  32 ms  23 ms   ord37s03-in-x0e.1e100.net [2607:f8b0:4009:812::200e]

Trace complete.   Час           DNS-ім'я           IP-адрес
C:\temp>

```

1.2.1. Використання службової програми TRACERT.

Діагностична програма TRACERT визначає маршрут до місця призначення, надсилаючи ехо-повідомлення протоколу ICMP (Internet Control) пакетів у місце призначення. У цих пакетах TRACERT використовує різні значення IP Time To Live (TTL). Оскільки кожен маршрутизатор на шляху зобов'язаний зменшити значення поля TTL пакета, за кінцевою мірою на 1 перед подальшою пересилкою пакета, значення TTL по суті є ефективним рахунком переходів. Коли термін ЖИТТЯ пакетів досягає нуля (0), маршрутизатор надсилає повідомлення ICMP «Time Exceeded» на вихідному комп'ютері. TRACERT відправляє перший ехо-пакет з TTL рівним 1 і збільшує значення TTL на 1 для кожного наступного відправленого, якщо призначення не відповідає або поки не буде досягнуто максимальне значення поля TTL. Параметр -d за допомогою команди tracert програмі TRACERT не потрібно виконувати пошук в DNS для кожної IP-адреси, так як команда TRACERT відображає IP-адресу ближніх інтерфейсів маршрутизаторів.

1.2.2. Використання команди TRACERT для усунення неполадок

TRACERT можна використовувати, щоб дізнатися в якому місці мережі залишаються пакети. У наступному прикладі основного шлюзу виявлено, що існує неправильний шлях для розміщення на 22.110.0.1. Вірно, або маршрутизатор має проблеми конфігурації або мережа 22.110.0.0 не існує, відображаючи неправильний IP-адрес. Команда: C:\ > tracert 22.110.0.1. В результаті виконання команди: Трасування маршруту до 22.110.0.1 через максимум 30 переходів 1 157.54.48.1 повідомляє: Мережа призначення недоступна. Трасування завершено. TRACERT корисний для усунення неполадок у великих сетях, де кілька шляхів можуть привести до тієї ж точки або де задіяно безліч проміжних компонентів (мости або маршрутизатори).

1.2.3 Параметри команди TRACERT

Існує кілька параметрів командних рядків, які можна використовувати за допомогою команди TRACERT, незважаючи на те, що параметри зазвичай не є стандартними неполадками. У наступному прикладі команди синтаксису показано всі можливі варіанти:

Tracert -d -h максЧисло -j списокВузлів - w Таймаут target_hostЩо робить параметри: -d

1.3. Послідовність виконання лабораторної роботи

1.3.1. Вимірювання пропускної здатності мережі за допомогою програми iperf. Загальні відомості.

- За адресою <https://iperf.fr/iperf-download.php> завантажити додаток **iperf** .

Download iPerf3 and original iPerf pre-compiled binaries

Note that iPerf3 is not backwards compatible with iPerf2.



Windows 64 bits compiled by Vivien Guéant. ([sha256](#))

- [iPerf 3.1.3](#) (8 jun 2016 - 1.3 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)
- [iPerf 3.1.2](#) (1 fev 2016 - 1.3 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)
- [iPerf 3.0.12](#) (8 jun 2016 - 1.3 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)
- [iPerf 3.0.11](#) (9 jan 2015 - 1.3 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)
- [iPerf 2.0.9](#) (6 jun 2016 - 1.7 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)
- [iPerf 2.0.8b](#) (17 sep 2015 - 1.6 MiB for Windows Vista 64bits to Windows 10 64bits)

- У командному рядку набрати команду **cmd** (натиснути клавіші Win+R та набрати “cmd”, та натиснути Enter; або перейти за адресою: Пуск-> Всі програми->Стандартні->Командна строка), вибрати том, куди завантажений додаток Iperf та запустити утиліту, наприклад:

```
C:\Users\karab>E:  
  
E:\>cd ipref  
  
E:\ipref>
```

- Запустити додаток у клієнтському (користувацькому режимі). Для цього використати синтаксис: iperf3.exe -c та додаткові параметри, які описані у «Короткий опис утиліти iperf». Синтаксис запуску з додатковими параметрами буде виглядати так: iperf3.exe -c iperf.volia.net -P 4 -t20 -T5 (запуск програми у клієнтському (користувацькому) режимі (iperf3.exe -c), публічний сервер iperf приєднання (iperf.volia.net), кількість паралельних потоків (-P 4), час проведення тестування (-t 20), час життя пакету (T 5).
- Провести тестування мережі принаймні для двох відкритих серверів iperf, (наприклад, українські сервера «Воля» (Київ) та «Астра» (Львів)) з такими параметрами тестування:

- a. кількість паралельних потоків – 1, 2, 4,
- b. тестування двостороннє та одностороннє,
- c. час проведення тестування – 10сек, 20 сек, 30 сек.
- d. час життя пакету – 1,3,5.

Список серверів можна знайти за посиланням
<https://iperf.fr/iperf-servers.php>.

1.3.2. Вимірювання пропускної здатності мережі 1 (Volia Kiev)

Запуск програми із параметрами iperf3.exe -c iperf.volia.net -P 4 -t 20 -T 5 видає наступні дані:

```
E:\ipref>iperf3.exe -c iperf.volia.net -P 4 -t 20 -T 5
5: Connecting to host iperf.volia.net, port 5201
5: [ 4] local 192.168.1.104 port 54767 connected to 77.120.3.236
port 5201
5: [ 6] local 192.168.1.104 port 54768 connected to 77.120.3.236
port 5201
5: [ 8] local 192.168.1.104 port 54769 connected to 77.120.3.236
port 5201
5: [10] local 192.168.1.104 port 54770 connected to 77.120.3.236
port 5201
5: [ID] Interval      Transfer  Bandwidth
5: [ 4] 0.00-1.00  sec 14.0 MBytes 117 Mbits/sec
5: [ 6] 0.00-1.00  sec 13.8 MBytes 115 Mbits/sec
5: [ 8] 0.00-1.00  sec 13.4 MBytes 112 Mbits/sec
5: [10] 0.00-1.00  sec 13.2 MBytes 111 Mbits/sec
5: [SUM] 0.00-1.00  sec 54.4 MBytes 455 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 1.00-2.00  sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [ 6] 1.00-2.00  sec 15.8 MBytes 132 Mbits/sec
5: [ 8] 1.00-2.00  sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [10] 1.00-2.00  sec 12.6 MBytes 106 Mbits/sec
5: [SUM] 1.00-2.00  sec 59.6 MBytes 501 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 2.00-3.00  sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [ 6] 2.00-3.00  sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
```

```

5: [ 8] 2.00-3.00 sec 15.6 MBytes 131 Mb/secs
5: [10] 2.00-3.00 sec 11.6 MBytes 97.6 Mb/secs
5: [SUM] 2.00-3.00 sec 58.2 MBytes 489 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 3.00-4.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 6] 3.00-4.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 8] 3.00-4.00 sec 15.2 MBytes 128 Mb/secs
5: [10] 3.00-4.00 sec 12.9 MBytes 108 Mb/secs
5: [SUM] 3.00-4.00 sec 59.1 MBytes 496 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 4.00-5.00 sec 15.8 MBytes 132 Mb/secs
5: [ 6] 4.00-5.00 sec 15.6 MBytes 131 Mb/secs
5: [ 8] 4.00-5.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [10] 4.00-5.00 sec 11.5 MBytes 96.5 Mb/secs
5: [SUM] 4.00-5.00 sec 58.4 MBytes 490 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 5.00-6.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 6] 5.00-6.00 sec 15.4 MBytes 129 Mb/secs
5: [ 8] 5.00-6.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [10] 5.00-6.00 sec 13.1 MBytes 110 Mb/secs
5: [SUM] 5.00-6.00 sec 59.5 MBytes 498 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 6.00-7.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 6] 6.00-7.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 8] 6.00-7.00 sec 15.5 MBytes 130 Mb/secs
5: [10] 6.00-7.00 sec 11.6 MBytes 97.7 Mb/secs
5: [SUM] 6.00-7.00 sec 58.1 MBytes 488 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 7.00-8.01 sec 15.6 MBytes 130 Mb/secs
5: [ 6] 7.00-8.01 sec 15.4 MBytes 128 Mb/secs
5: [ 8] 7.00-8.01 sec 15.5 MBytes 129 Mb/secs
5: [10] 7.00-8.01 sec 12.0 MBytes 100 Mb/secs
5: [SUM] 7.00-8.01 sec 58.5 MBytes 489 Mb/secs
5: -----
5: [ 4] 8.01-9.00 sec 15.5 MBytes 131 Mb/secs
5: [ 6] 8.01-9.00 sec 15.5 MBytes 131 Mb/secs
5: [ 8] 8.01-9.00 sec 15.5 MBytes 131 Mb/secs
5: [10] 8.01-9.00 sec 11.6 MBytes 97.9 Mb/secs

```

```

5: [SUM] 8.01-9.00 sec 58.1 MBytes 490 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 9.00-10.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbbits/sec
5: [ 6] 9.00-10.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [ 8] 9.00-10.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbbits/sec
5: [10] 9.00-10.00 sec 13.4 MBytes 112 Mbbits/sec
5: [SUM] 9.00-10.00 sec 59.6 MBytes 500 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 10.00-11.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbbits/sec
5: [ 6] 10.00-11.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbbits/sec
5: [ 8] 10.00-11.00 sec 12.6 MBytes 106 Mbbits/sec
5: [10] 10.00-11.00 sec 13.1 MBytes 110 Mbbits/sec
5: [SUM] 10.00-11.00 sec 56.8 MBytes 476 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 11.00-12.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [ 6] 11.00-12.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbbits/sec
5: [ 8] 11.00-12.00 sec 11.6 MBytes 97.5 Mbbits/sec
5: [10] 11.00-12.00 sec 13.9 MBytes 116 Mbbits/sec
5: [SUM] 11.00-12.00 sec 56.6 MBytes 475 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 12.00-13.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbbits/sec
5: [ 6] 12.00-13.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbbits/sec
5: [ 8] 12.00-13.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbbits/sec
5: [10] 12.00-13.00 sec 13.0 MBytes 109 Mbbits/sec
5: [SUM] 12.00-13.00 sec 59.4 MBytes 498 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 13.00-14.00 sec 15.2 MBytes 128 Mbbits/sec
5: [ 6] 13.00-14.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [ 8] 13.00-14.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [10] 13.00-14.00 sec 14.6 MBytes 123 Mbbits/sec
5: [SUM] 13.00-14.00 sec 60.9 MBytes 511 Mbbits/sec
5: -----
5: [ 4] 14.00-15.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [ 6] 14.00-15.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [ 8] 14.00-15.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbbits/sec
5: [10] 14.00-15.00 sec 12.6 MBytes 106 Mbbits/sec
5: [SUM] 14.00-15.00 sec 59.1 MBytes 496 Mbbits/sec
5: -----

```

```

5: [ 4] 15.00-16.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [ 6] 15.00-16.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [ 8] 15.00-16.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbits/sec
5: [10] 15.00-16.00 sec 11.2 MBytes 94.4 Mbits/sec
5: [SUM] 15.00-16.00 sec 57.8 MBytes 485 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 16.00-17.00 sec 15.2 MBytes 128 Mbits/sec
5: [ 6] 16.00-17.00 sec 15.4 MBytes 129 Mbits/sec
5: [ 8] 16.00-17.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [10] 16.00-17.00 sec 11.6 MBytes 97.4 Mbits/sec
5: [SUM] 16.00-17.00 sec 57.8 MBytes 484 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 17.00-18.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [ 6] 17.00-18.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [ 8] 17.00-18.00 sec 15.2 MBytes 128 Mbits/sec
5: [10] 17.00-18.00 sec 12.4 MBytes 104 Mbits/sec
5: [SUM] 17.00-18.00 sec 58.8 MBytes 493 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 18.00-19.00 sec 15.0 MBytes 126 Mbits/sec
5: [ 6] 18.00-19.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [ 8] 18.00-19.00 sec 14.5 MBytes 122 Mbits/sec
5: [10] 18.00-19.00 sec 14.0 MBytes 118 Mbits/sec
5: [SUM] 18.00-19.00 sec 59.1 MBytes 497 Mbits/sec
5: -----
5: [ 4] 19.00-20.00 sec 15.6 MBytes 131 Mbits/sec
5: [ 6] 19.00-20.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [ 8] 19.00-20.00 sec 11.6 MBytes 97.2 Mbits/sec
5: [10] 19.00-20.00 sec 15.5 MBytes 130 Mbits/sec
5: [SUM] 19.00-20.00 sec 58.2 MBytes 487 Mbits/sec
5: -----
5: [ ID] Interval      Transfer  Bandwidth
5: [ 4]   0.00-20.00 sec    308 MBytes  129 Mbits/sec
sender
5: [ 4]   0.00-20.00 sec    308 MBytes  129 Mbits/sec
receiver
5: [ 6]   0.00-20.00 sec    309 MBytes  129 Mbits/sec
sender

```

```

5: [ 6] 0.00-20.00 sec 309 MBytes 129 Mb/s/sec
receiver
5: [ 8] 0.00-20.00 sec 296 MBytes 124 Mb/s/sec
sender
5: [ 8] 0.00-20.00 sec 296 MBytes 124 Mb/s/sec
receiver
5: [10] 0.00-20.00 sec 256 MBytes 107 Mb/s/sec
sender
5: [10] 0.00-20.00 sec 256 MBytes 107 Mb/s/sec
receiver
5: [SUM] 0.00-20.00 sec 1.14 GBytes 490 Mb/s/sec
sender
5: [SUM] 0.00-20.00 sec 1.14 GBytes 490 Mb/s/sec
receiver
5:
5: iperf Done.

```

Занесемо дані із консолі в таблицю 1.

Таблиця 1.

Volia Kiev (iperf.volia.net)

Interval (sec)	Transfer (MBytes)					Bandwidth (Mbits/sec)				
	P1	P2	P3	P4	SUM	P1	P2	P3	P4	[SUM]
0.00-1.01	14.0	13.8	13.4	13.2	54.4	117	115	112	111	455
1.01-2.00	15.6	15.8	15.6	12.6	59.6	131	132	131	106	501
2.00-3.00	15.5	15.5	15.6	11.6	58.2	130	130	131	97.6	489
3.00-4.01	15.1	15.5	15.2	12.9	59.1	130	130	128	108	496
4.01-5.00	15.5	15.5	15.2	12.9	59.1	130	130	128	108	496
5.00-6.00	15.5	15.4	15.5	13.1	59.5	130	129	130	110	498
6.00-7.00	15.5	15.5	15.5	11.6	58.1	130	130	130	97.7	488
7.00-8.00	15.6	15.4	15.5	12	58.5	130	128	129	100	489
8.00-9.00	15.5	15.5	15.5	11.6	58.1	131	131	131	97.9	490
9.00-10.01	15.4	15.5	15.4	13.4	59.6	129	130	129	112	500
10.01-11.01	15.4	15.6	12.6	13.1	56.8	129	131	106	110	476
11.01-12.00	15.5	15.6	11.6	13.9	56.6	130	131	97.5	116	475
12.00-13.00	15.6	15.4	15.4	13	59.4	131	129	129	109	498
13.00-14.01	15.2	15.5	15.5	14.6	61	128	130	130	123	511
14.01-15.00	15.5	15.5	15.5	12.6	59.1	130	130	130	106	496
15.00-16.01	15.5	15.6	15.4	11.2	57.8	130	131	129	94.4	485
16.01-17.01	15.2	15.4	15.5	11.6	57.8	129	129	130	97.4	484
17.01-18.00	15.6	15.5	15.2	12.4	58.8	131	130	128	104	497
18.00-19.00	15	15.6	14.5	14	59.1	126	131	122	118	497
19.00-20.00	15.6	15.5	11.6	15.5	58.2	131	130	97.2	130	487

На рис. 1 графічно представлені дані таблиці 1.

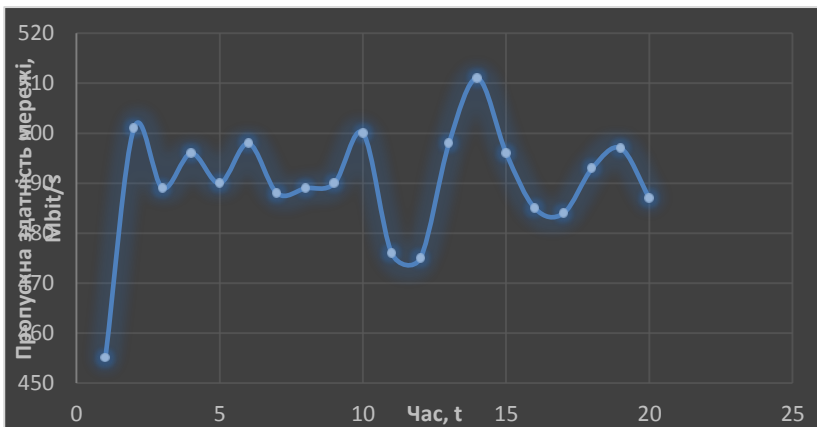
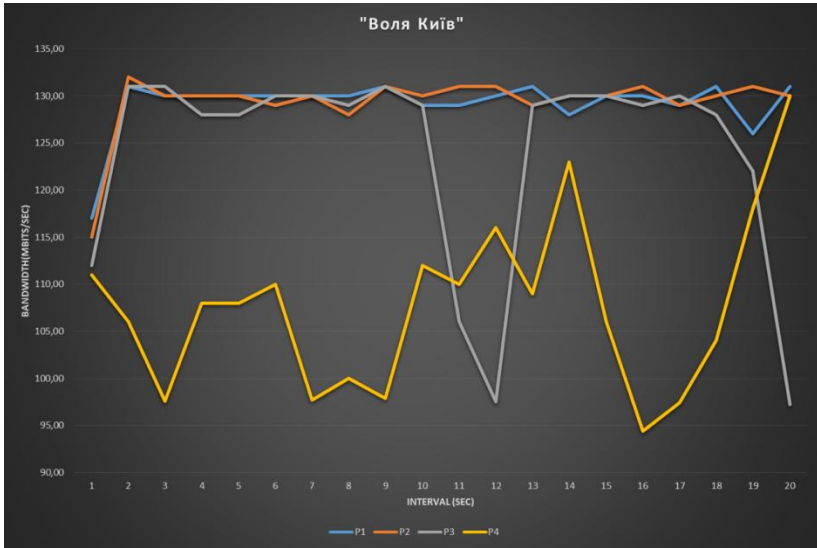


Рис. 1. Залежність пропускової здатності мережі в часі для volia.net.

1.3.3. Вимірювання пропускної здатності мережі 2 (Astra Lviv)

Astra Lviv (iperf.astra.in.ua)

Interval (sec)	Transfer (MBytes)					Bandwidth(Mbits/sec)				
	P1	P2	P3	P4	SUM	P1	P2	P3	P4	SUM
0.00-1.01	9.5	9.62	9.5	9.5	38.1	79.1	80.1	79.1	79.1	317
1.01-2.00	10.9	10.8	10.8	10.8	43.1	91.9	90.8	90.8	90.8	364
2.00-3.00	10.9	8.25	8.12	10.9	38.1	91.2	69.2	68.2	91.2	320
3.00-4.01	8.25	5.62	7	3.25	24.1	68.8	46.9	58.4	29.1	201
4.01-5.00	7.62	6.12	6.62	3.12	23.5	64.2	51.6	55.8	26.3	198
5.00-6.00	4.5	4.38	5.25	3.62	17.8	37.6	36.6	43.9	30.3	148
6.00-7.00	3.62	4.38	5.12	3.88	17	30.4	36.7	43	32.5	143
7.00-8.00	3.12	4.62	3.38	4.75	15.9	26.3	38.9	28.4	39.9	133
8.00-9.00	3.75	5	4.88	5.25	18.9	31.5	41.9	40.9	44	158
9.00-10.01	4.62	5.88	4.62	5.25	20.4	38.5	48.9	38.5	43.7	170
10.01-11.01	4.8	6.9	4.3	4.6	21.5	40	57.9	35.8	47.4	181
11.01-12.00	4.5	4	4.3	4.8	17.5	37.9	33.7	35.8	40	147
12.00-13.00	4.3	4.5	3.8	4.9	17.4	35.7	37.8	31.5	40.9	146
13.00-14.01	5.9	6.3	2.9	5	20	49	52.1	24	41.7	167
14.01-15.00	6.8	7	3.8	4.9	22.4	56.8	58.9	31.6	41	188
15.00-16.01	6.9	7.1	5.5	4	23.5	57.5	59.6	46	33.5	197
16.01-17.01	5.6	8.3	3.6	5.9	23.4	47	69	30.3	49.1	195
17.01-18.00	4.5	6.1	2.8	7.3	20.6	37.9	51.5	23.1	61	174
18.00-19.00	3.2	6.4	2.6	7.5	19.6	26.3	53.6	22.1	63.1	165
19.00-20.00	2	5.4	3.4	7.6	18.4	16.7	45	28.3	63.8	154

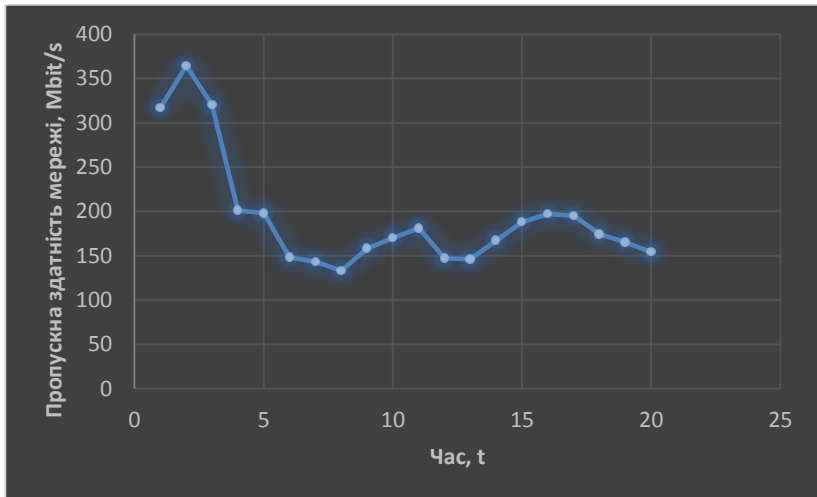
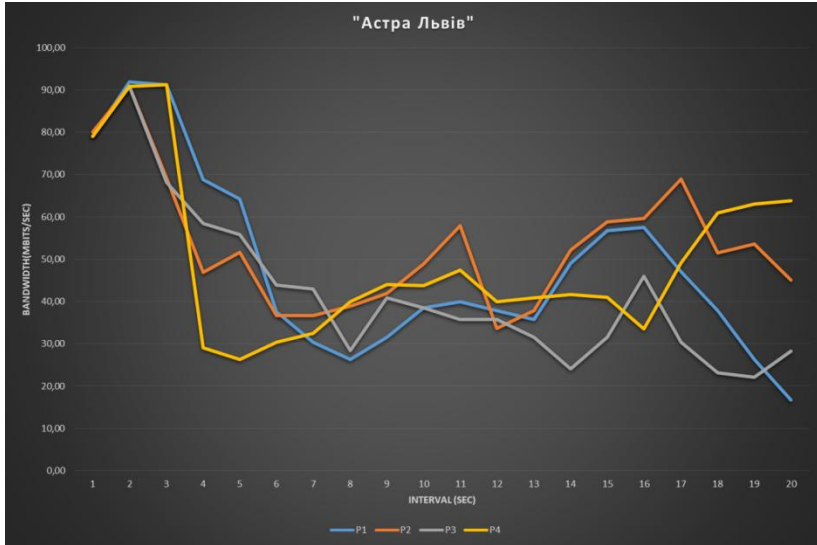


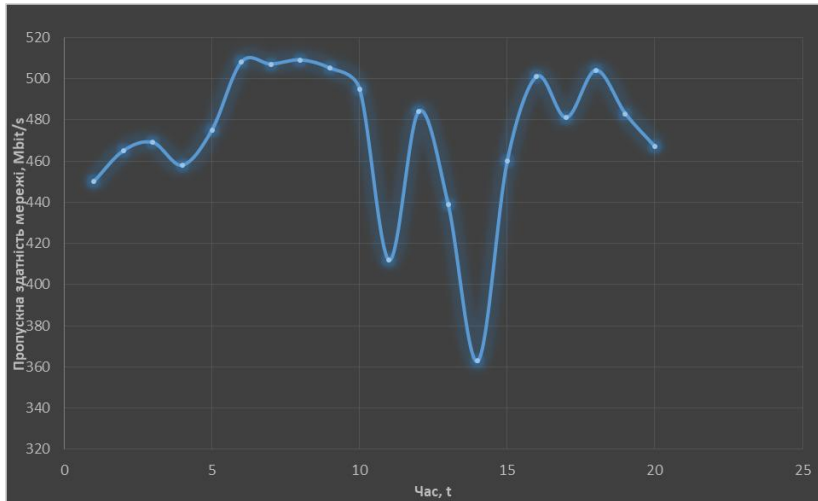
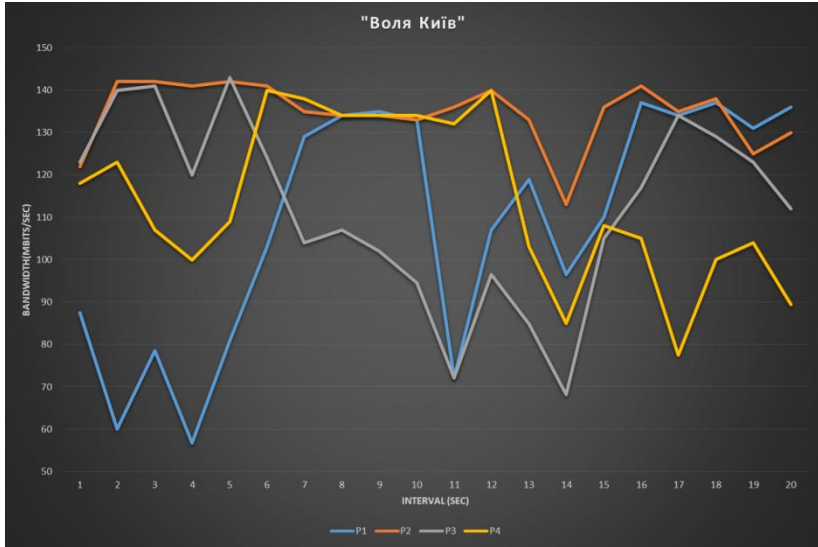
Рис. 1. Залежність пропускової здатності мережі в часі для **Astra Lviv**.

1.3.4. Вимірювання пропускну́ї здатності мережі 1 під навантаженням.

Навантаження мережі: 2 комп'ютера 2 телефона:
включено/використовуються: 1 фільм, 3 трансляції на ютубі, 2 відео на ютубі, додатки та месенжери

Volia Kiev (iperf.volia.net)

Interval (sec)	Transfer (MBytes)					Bandwidth(Mbits/sec)				
	P1	P2	P3	P4	SUM	P1	P2	P3	P4	SUM
0.00-1.01	10.5	14.6	14.8	14.1	54	87.5	122	123	118	450
1.01-2.00	7.1	16.9	16.6	14.6	55.2	60	142	140	123	465
2.00-3.00	9.4	17	16.9	12.8	56	78.5	142	141	107	469
3.00-4.01	6.8	16.8	14.2	11.9	49.6	56.8	141	120	99.9	418
4.01-5.00	9.6	19.9	17	13	56.5	80.9	142	143	109	475
5.00-6.00	12.2	16.9	14.8	16.8	60.6	103	141	124	140	508
6.00-7.00	15.4	16.1	12.4	16.5	60.4	129	135	104	138	507
7.00-8.00	16	16	12.8	16	60.8	134	134	107	134	509
8.00-9.00	16.1	16	12.1	16	60.2	135	134	102	134	505
9.00-10.01	15.9	15.9	11.2	16	59	133	133	94.5	134	495
10.01-11.01	8.6	16.2	8.6	15.8	49.2	72.1	136	72.1	132	412
11.01-12.00	12.8	16.8	11.5	16.8	57.8	107	140	96.5	140	484
12.00-13.00	14.2	15.9	10.1	12.2	52.5	119	133	84.8	103	439
13.00-14.01	11.5	13.5	8.1	10.1	43.2	96.5	113	68.2	85	363
14.01-15.00	13.1	16.2	12.5	12.9	54.8	110	136	105	108	460
15.00-16.01	16.4	16.9	14	12.5	59.8	137	141	117	105	501
16.01-17.01	16	16.1	16	9.3	57.4	134	135	134	77.5	481
17.01-18.00	16.2	16.4	15.2	11.9	59.8	137	138	129	100	504
18.00-19.00	15.6	15	14.8	12.5	57.9	131	125	123	104	483
19.00-20.00	16.1	15.5	13.2	10.6	55.5	136	130	112	89.4	467

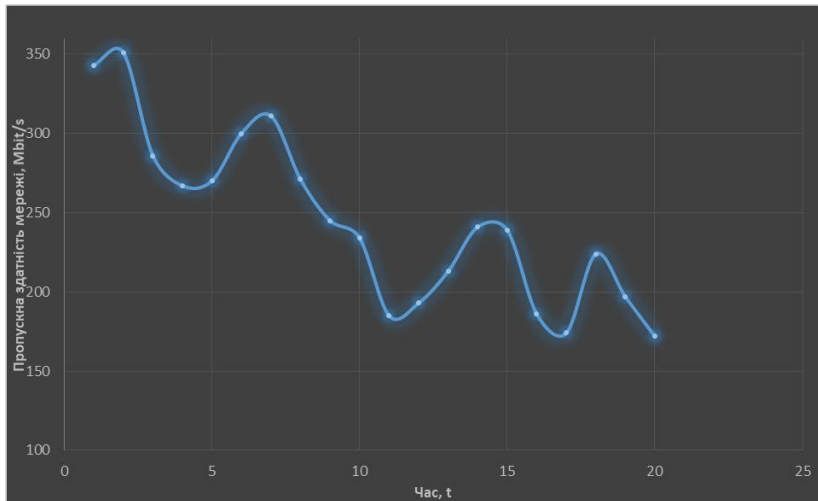
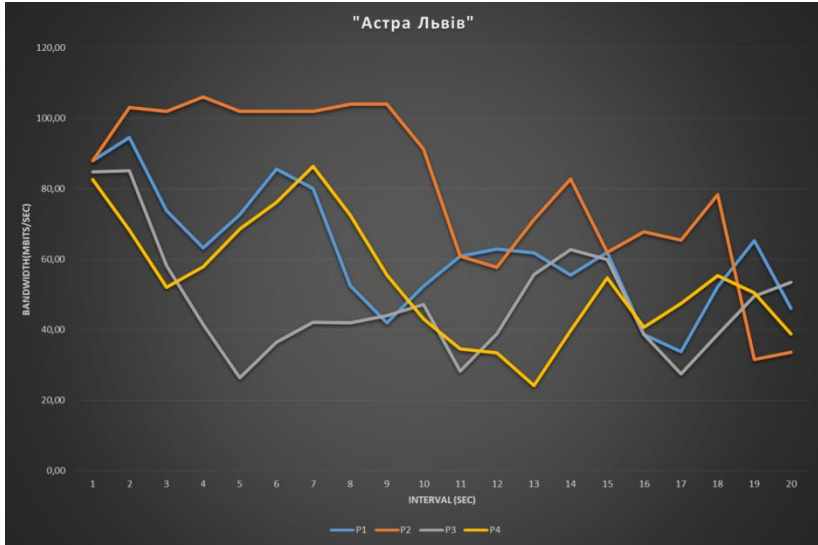


1.3.5. Вимірювання пропускну́ї здатності мережі 2 під навантаженням.

Навантаження мережі: 2 комп'ютера 2 телефона:
включено/використовуються: 1 фільм, 3 трансляції на ютубі, 2 відео на ютубі, додатки та месенжери

Astra Lviv (iperf.astra.in.ua)

Interval (sec)	Transfer (MBytes)					Bandwidth(Mbits/sec)				
	P1	P2	P3	P4	SUM	P1	P2	P3	P4	SUM
0.00-1.01	10.5	10.5	10.1	9.9	41	87.9	87.9	84.7	82.6	343
1.01-2.00	11.2	12.2	10.1	8.1	41.8	94.5	103	85.1	68.3	351
2.00-3.00	8.9	12.2	7	6.3	34.4	73.8	102	58.2	52	286
3.00-4.01	7.5	12.4	4.9	6.9	31.6	63.2	106	41.4	57.9	267
4.01-5.00	8.6	12.1	3.1	8.1	32	72.7	102	26.3	68.5	270
5.00-6.00	10.2	12.2	4.4	9.1	36	85.5	102	36.5	76.1	300
6.00-7.00	9.5	12.1	5	10.2	36.9	80	102	42.1	86.3	311
7.00-8.00	6.3	12.4	5	8.6	32.2	52.5	104	42	72.5	271
8.00-9.00	5	12.4	5.3	6.6	29.2	41.9	104	44	55.5	245
9.00-10.01	6.3	10.9	5.6	4.1	27.9	52.4	91.2	47.2	43	234
10.01-11.01	7.3	7.3	3.4	4.1	22	60.9	60.9	28.3	34.6	185
11.01-12.00	7.5	6.9	4.6	4	23	62.9	57.7	38.8	33.5	193
12.00-13.00	7.4	8.5	6.6	2.9	25.4	61.8	71.3	55.6	24.1	213
13.00-14.01	6.6	9.9	7.5	4.8	28.8	55.5	82.7	62.8	39.8	241
14.01-15.00	7.4	7.4	7.1	6.5	28.4	62	62	59.9	54.7	239
15.00-16.01	4.6	8.1	4.6	4.9	22.2	38.6	67.8	38.6	40.7	186
16.01-17.01	4	7.8	3.3	5.6	20.6	33.7	65.4	27.4	47.4	174
17.01-18.00	6.3	9.4	4.6	6.6	26.9	52.2	78.3	38.6	55.3	224
18.00-19.00	7.8	3.8	5.9	6	23.4	65.3	31.6	49.5	50.5	197
19.00-20.00	5.5	4	6.4	4.6	20.5	46.1	33.6	53.5	38.8	172



1.4. Висновок.

Вимірювання 1.

Воля середня пропускна здатність – 489,9 Mbits/sec

Воля (нав) середня пропускна здатність – 469,755 Mbits/sec

Астра середня пропускна здатність – 193,3 Mbits/sec

Астра (нав) середня пропускна здатність – 245,1 Mbits/sec

Вимірювання 2.

Воля середня пропускна здатність – 155,75 Mbits/sec

Воля (нав) середня пропускна здатність – 186,3 Mbits/sec

Для зручності, заносимо дані у таблицю та шукаємо різницю пропускної здатності між мережами під час навантаження та без навантаження.

<i>Вимірювання 1.</i>			
Сервера	Пропускна здатність, Мбіт/с	Пропускна здатність (нав), Мбіт/с	Різниця, %
Воля	489,9	469,75	4,2
Астра	193,3	245,1	26,8(+)
<i>Вимірювання 2.</i>			
Сервера	Пропускна здатність, Мбіт/с	Пропускна здатність (нав), Мбіт/с	Різниця, %
Воля	155,75	186,3	19,6(+)

З таблиці можна побачити і зробити неправильний висновок, що під час навантаження збільшується пропускна здатність, але це не так. Реальний результат можна побачити у першому випадку на сервері «Воля Київ». Похибку з іншими випадками, можна пояснити тим, що тестування проводилися у різні дні, і у дні, коли тестувалася мережа під навантаженням, сервера провайдера та сервера «Волі Київ» та «Астри» були «вільнішими» (саме навантаження серверів, було менше, тому вони змогли надати більшу швидкість)

Якщо аналізувати таблиці з окремими тестуваннями окремої мережі на окремому сервері, то можна побачити, що у кожний відлік часу (у нашому випадку секунда) різна пропускна здатність мережі. Похибку можна списати на «старт» тестування, та на різне навантаження мережі у кожний відлік часу (це можуть бути проблеми, як зі сторони інтернет провайдера і також навантаження локальної мережі додатками/браузером/месенджерами)

Отже, оплачуючи тариф на 500 Мбіт/с, у реальності, ми отримуємо їх, але не стабільно. У кожний відлік часу, пропускна здатність різна (є як додатня, так і від'ємна похибка). Також, можна зробити висновок, що інтернет провайдери по каналу зв'язку до абонента надають більшу пропускну здатність, ніж вони оплачують (наприклад, тариф на 500 Мбіт/с, а провайдер дає 520 Мбіт/с). Це зумовлено втратами на каналі і внутрішніми та зовнішніми чиниками (попри, надану пропускну здатність до абонента, до нього доходить значно менша пропускна здатність).

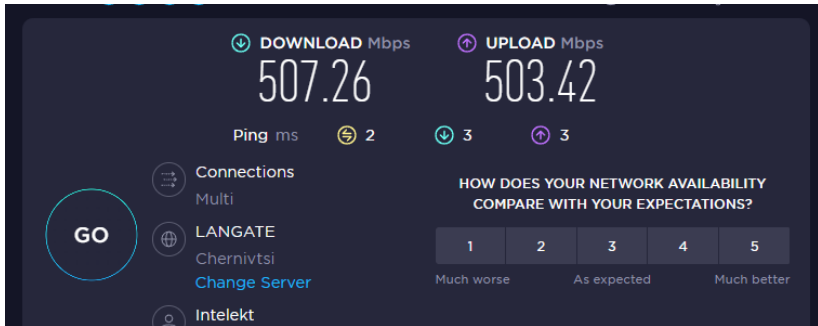
2. Онлайн сервіси тестування пропускної здатності мережі.

Розглянемо тестування мережі за допомогою онлайн сервісу “SPEEDTEST” (посилання: <https://www.speedtest.net/>). Вимірювання пропускної здатності мережі проводилось на серверах «Лангейту» та «Воли Київ»

ПЕРША МЕРЕЖА (Вимірювання 1):

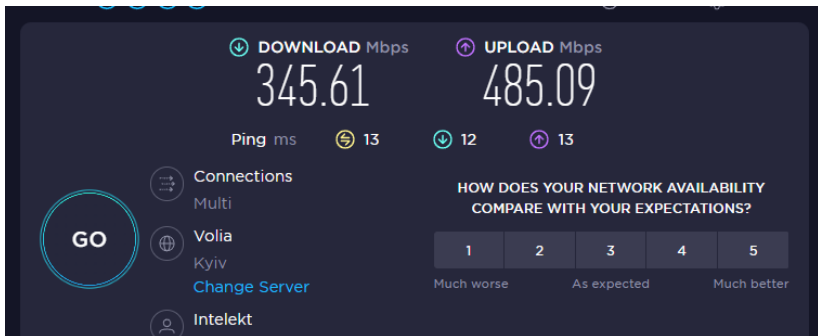
Connections: Multi

Server: LANGATE



Connections: Multi

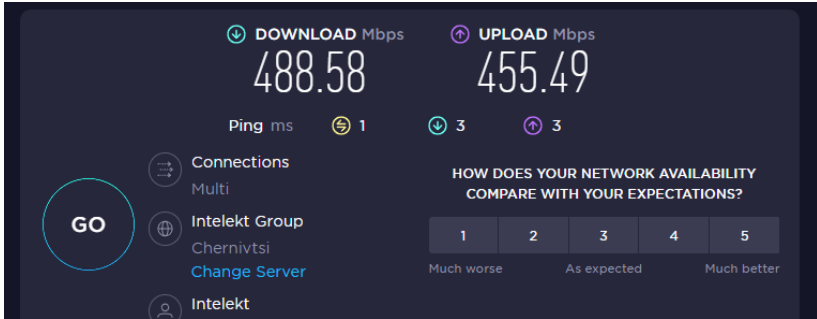
Server: Volia Kyiv



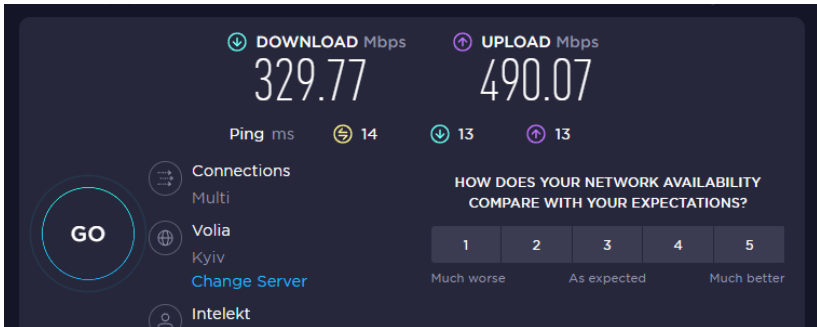
Мережа під навантаженням:

Навантаження мережі: 2 комп'ютера 2 телефона:
включено/використовуються: 1 фільм, 3 трансляції на ютубі, 2 відео на ютубі, додатки та месенжери

Connections: Multi
Server: LANGATE



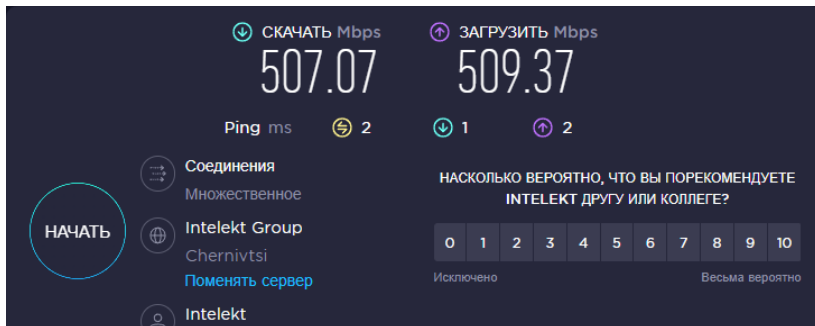
Connections: Multi
Server: Volia Kyiv



ДРУГА МЕРЕЖА (Вимірювання 2):

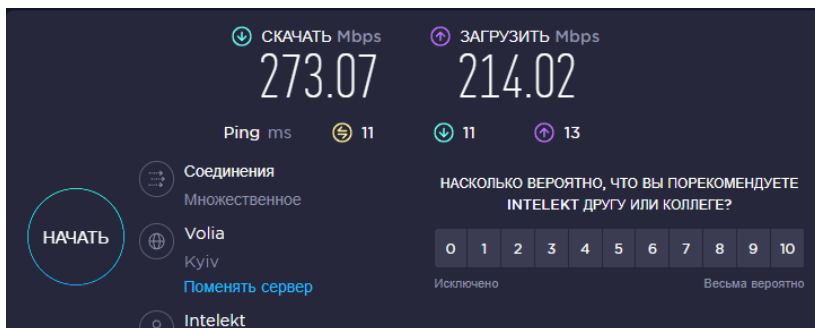
Connections: Multi

Server: LANGATE



Connections: Multi

Server: Volia Kyiv

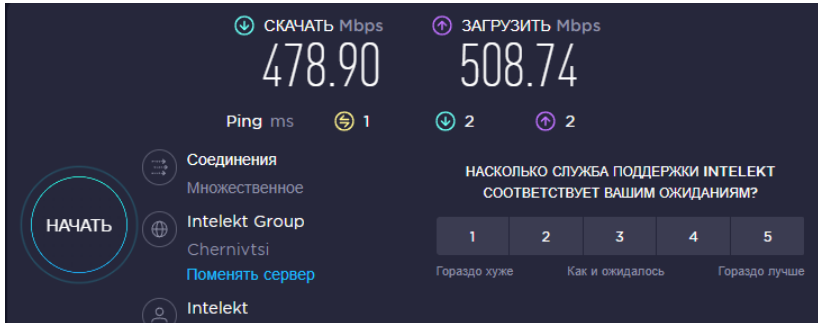


Мережа під навантаженням:

Навантаження мережі: 3 відео (одне в 4к) ютуб, стрим, онлайн гра на телефоні, відео ютуб на телевізорі, фільм на ноутбучі

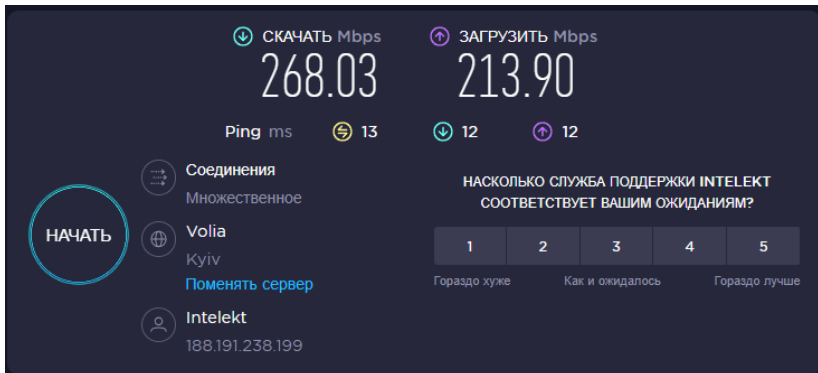
Connections: Multi

Server: LANGATE



Connections: Multi

Server: Volia Kyiv



Висновок.

З результатів, можна побачити різницю в пропускній здатності мережі між «Лангейтом» та «Волею Київ». Різниця зумовлена тим, що сервера «Лангейту» знаходяться у місті Чернівці і вони відносно недалеко розташовані від серверів «Інтелекту» (інтернет провайдера, який ми використовуємо). Сервера «Воля Київ», як не важко здогадатися, знаходяться в Києві. Так, «Воля Київ» безпосередньо має сервера і в м. Чернівці, але тестування проводилося саме на київських серверах.

Перший вимір					
Сервера	Download, Мбіт/с	Download (нав), Мбіт/с	Upload, Мбіт/с	Upload (нав), Мбіт/с	Різниця Dow/Up, %
Лангейт	507,26	488,58	503,42	455,49	3,7/9,5
Воля	345,61	329,77	485,09	490,07	4,6/1(+*)
Другий вимір					
Сервера	Download, Мбіт/с	Download (нав), Мбіт/с	Upload, Мбіт/с	Upload (нав), Мбіт/с	Різниця Dow/Up, %
Лангейт	507,07	478,9	509,37	508,74	5,55/0,1
Воля	273,07	268,03	214,02	213,9	1,84/0,05

*При навантаженні швидкість Upload'у збільшалась

Як можна побачити з таблиці, навантаження мережі не сильно впливає на пропускну здатність мережі. Проаналізувавши таблицю, видно, що навантаження найбільше впливає на Download (завантажування). Upload суттєво не змінюється.

На скільки б не було потужним обладнання, яке організовує бездротове з'єднання, в нього все-одно є межі підключених пристроїв. І чим ближча кількість користувачів до межі – тим на меншу швидкість інтернету кожен із них має розраховувати.

До того ж не завжди роутери розподіляють швидкість рівномірно. Буває і так, що коли один користувач качає великий файл, другому доводиться довго чекати навіть елементарного відкриття веб-сторінки.

Так що якщо у вас велика сім'я і ви не хочете, щоб хтось із домашніх був обділений у швидкості – можна придбати роутер з функцією розподілу трафіку.

Альтернативний варіант – налаштувати в програмі завантаження файлів граничне значення швидкості скачування файлів. Ну і, зрозуміло, як би не обурювалися ваші сусіди – необхідно запаролити доступ до Wi-Fi.

Зміст звіту

Звіт має містити:

- результати досліджень; таблиці з результатами вимірювань; графіки пропускної здатності мережі;
- висновки щодо аналізу результатів дослідження.

Контрольні запитання:

1. Охарактеризуйте можливості застосування додатку iperf.
2. У яких одиницях вимірюється швидкість передачі даних?
3. Які фактори впливають на пропускну здатність мережі?
4. Призначення команди ping.
5. Поясніть призначення ключів : -p, -P, -f, -t, -i, -T
6. Охарактеризуйте можливості застосування “SpeedTest”?
7. Призначення команди TRACERT?
8. Чи впливає програмне забезпечення на швидкість інтернету? Чому?
9. Які значення пропускної здатності є комфортними на сьогоднішній день? Які задачі вимагають підвищеної пропускної здатності мережі?

Протокол вимірювання параметрів та розрахунку показників якості передачі та доступу до Інтернет телекомунікаційної мережі.

ПРОТОКОЛ №1

вимірювання параметрів та розрахунку показників якості передачі та доступу до Інтернет телекомунікаційної мережі

м. Чернівці

«__» _____ 2022 року

Комісією у складі:

Голови комісії:

Члени комісії:

здійснено випробування показників доступності та повноцінності послуг даних та доступу до Інтернет шляхом вимірювання, визначених керівником документами, параметрів телекомунікаційної мережі «ННІФТКН».

1. Вимірювання параметрів, значення яких використовуються для розрахунку показників доступності та повноцінності надання послуг передачі даних та доступу до мережі Інтернет

1.1 Порядок вимірювань

Вимірювання параметрів виконувалось персональним комп'ютером (ПК).

Тестові сеанси на сервер Державного підприємства «Воля Київ» (IP-адреса: 77.120.3.236) здійснювались через обладнання студентів (IP-адреса: 188.191.234.198).

Під час випробувань якості мереж передачі даних та Інтернет вимірювались наступні показники:

1. відсоток успішності реєстрацій у мережі (log-in);
2. відсоток відмов;
3. відсоток реєстрацій, які відповідають нормам за часом реєстрацій мережі;
4. відсоток незадовільнених з'єднань за швидкістю передачі даних;
5. швидкість передачі даних;
6. час затримки (час передачі в один бік)($T_{пер}$) для послуг із доступом до інтернету.

Вимірюванням встановлено:

Витяг з статистики тестових вимірювань

Таблиця 1.1

Дата та час	Відліки часу (sec)	Пропускна здатність (Mbits/sec)	Середня затримка (мс)	Втрата пакетів (%)	IP клієнта	IP сервера
15.10.2022 20:18	0.00- 1.01	450	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	1.01- 2.00	465	21	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	2.00- 3.00	469	19	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	3.00- 4.00	418	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	4.00- 5.00	475	18	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	5.00- 6.00	508	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	6.00- 7.00	507	18	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	7.00- 8.00	509	19	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	8.00- 9.00	505	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	9.00- 10.00	495	18	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	10.00- 11.00	412	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	11.00- 12.00	484	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	12.00- 13.01	439	19	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	13.01- 14.00	363	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	14.00- 15.00	460	18	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	15.00- 16.00	501	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	16.00- 17.01	481	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	17.01- 18.00	504	19	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	18.00- 19.00	483	20	0	188.191.234.198	77.120.3.236
15.10.2022 20:18	19.00- 20.00	467	18	0	188.191.234.198	77.120.3.236

1.2 Розрахунок показників якості передачі даних та доступу до Інтернет телекомунікаційної мережі:

Вимірювальний прилад було під'єднано Ethernet – кабелем до мережі передачі даних оператора і надано статичну внутрішню адресу.

Відповідно до (-3) Таблиці 2 наказу Адміністрації Держспецзв'язку від 28.12.2012 року № 803, зареєстрованого в Мінюсті 21.01.2013 року за N 135/22667 результати спостережень повинні забезпечувати відносну точність не менше 20% з рівнем довіри не менше 80%.

При здійсненні вимірювання параметрів якості з кінцевого обладнання споживачів телекомунікаційних послуг або з точки під'єднання кінцевого обладнання споживачів до телекомунікаційної мережі результати спостережень повинні забезпечувати відносну точність не менше 60 % з рівнем довіри не менше 80 %.

А тому, враховуючи вищесказане, мінімальна кількість сеансів, необхідна для спостереження при обраній точності оцінювання – 60 % та рівні довіри 95 % буде складати **12 сеанси** відповідно до (Б.5) ДОДАТКУ Б СОУ 61 – 34620942 – 011:2012, затвердженого наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 12.09.2012 року №517 (*надалі – СОУ 61 - 34620942 – 011:2012*).

Відповідно до Б.5 ДОДАТКУ Б СОУ 61 – 34620942 – 011:2012 загальна кількість сеансів виконаних під час спостережень може бути вищою ніж 12 сеанси, що, в свою чергу, забезпечить підвищення рівня точності вимірювання та, як наслідок, додаткових витрат.

Вимірювання проводилися з 12:51:13 15.10.2022 року до 20:18:21 15.10.2022 року. За час проведення вимірювання було

проведено 12 тестових сеансів .що відповідає відносній точності оцінки 47,11 %.

Дані щодо розрахунку результатів вимірювання

Таблиця 1.2

Назва оператора	ННІФТКН		
Сервер, на який проводилися вимірювання	Воля київ		
Дата та час початку вимірювання	15.10.2022 12:51		
Дата та час закінчення вимірювання	15.10.2022 20:18		
Кількість проведених вимірювань	12		
	Нормовані	Всього	Відсоток
Успішні реєстрації у мережі	12	12	100
Відмови мережі	00:00:00	7:27:19	0
Відповідають нормам за часом реєстрації у мережі	12	12	100
Незадовільні з'єднання за швидкістю передачі даних (завантаження)	0	12	0
Незадовільні з'єднання за швидкістю передачі даних (відвантаження)	0	12	0

Розрахунок показника «Відсоток з'єднань, що відповідають нормам за якістю передачі мовної інформації» здійснювався на основі вимірюваних параметрів (Таблиця 1) відповідно до (Б.5) ДОДАТКУ Б СОУ 61 – 34620942 – 011:2012. Результати розрахунку приведені у Таблиці 2.

2. Результати вимірювання параметрів та розрахунку показників ЯТП МПДЗК

Таблиця 2

Назва показника (параметру)	Позначення та пункт НПА на вимоги	Вимоги до показників (параметрів)	Фактичні значення Показників (параметрів)	Висновок про відповідність вимогам НПА
1	2	3	4	5
1 Показники, які характеризують доступність послуг із передачі даних і доступу до Інтернету	2.1			
1.1. Відсоток успішних реєстрацій у мережі (log-in) () для: <i>- доступу до Інтернету</i>	2.1.1	не менше 90 %	100 %	відповідає
1.2 Відсоток відмов () для послуг із: <i>- доступу до Інтернету</i>	2.1.2	не більше 10 %	0 %	відповідає
1.3 Нормований час реєстрації в мережі для послуг <i>- доступу до Інтернету</i>	2.1.3	не більше 30 с		

1.4. Відсоток реєстрації, які відповідають нормам за часом реєстрації в мережі, для послуг із:	2.1.4			
- <i>доступу до Інтернету</i>		не менше 90 %	100 %	відповідає
2 Показники, які характеризують повноцінність надання послуг				
2.1. Нормований рівень швидкість передачі даних (для універсального доступу)	2.2.1	не менше 56 Кбіт/с		
2.2. Відсоток незадовільних з'єднань за швидкість передачі даних () для послуг із:	2.2.2			
- <i>доступу до Інтернету</i>		не більше 10 %	0 %	відповідає
2.3. Час затримки (час передачі в один бік) ($T_{сер}$) для послуг із:	2.2.3			

Назва показника (параметру)	та пункт НПА на	Вимоги до показників (параметрів)	Фактичні значення Показників (параметрів)	Висновок про відповідальність вимогам НПА
1	2	3	4	5
- передача даних:		не встановлено		
- доступ до Інтернету: - (Тпер_мін.) - (Тпер_макс.) - (Тпер_сер.)		не встановлено	10,000 мс	---
		не встановлено	21,393 мс	---
		не встановлено	10,335 мс	
		не встановлено		
		не встановлено		

Висновки:

За результатами проведених вимірювань параметрів якості послуг передачі даних та доступу до Інтернет на мережі студентів з обмеженою відповідальністю «ЧНУ» встановлено, що в період проведення вимірювання, показники: відсоток успішних реєстрацій у мережі (log-in), відсоток відмовлю відсоток реєстрацій, які відповідають нормам за часом реєстрації в мережі, відсоток незадовільних з'єднань за швидкістю передачі даних, швидкість передачі даних, час затримки (час передачі в один бік) ($T_{пер}$) для послуг із доступом до інтернету відповідають встановленим граничним нормованим рівням якості послуг передачі даних та доступу до Інтернет, що затверджені наказом Адміністрації Державної

служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 28.12.2012 року № 803.

Додатки:

Додаток № 1 – Графік швидкості передачі даних (завантаження та відвантаження) з 12:51:13 15.10.2022 року до 20:18:21 15.10.2022 року на 1 аркуші.

Протокол складений на 7-ми (семи) аркушах у 2-ох (двох) примірниках.

Підписи:

Голова комісії _____

Голова комісії _____

Члени комісії _____

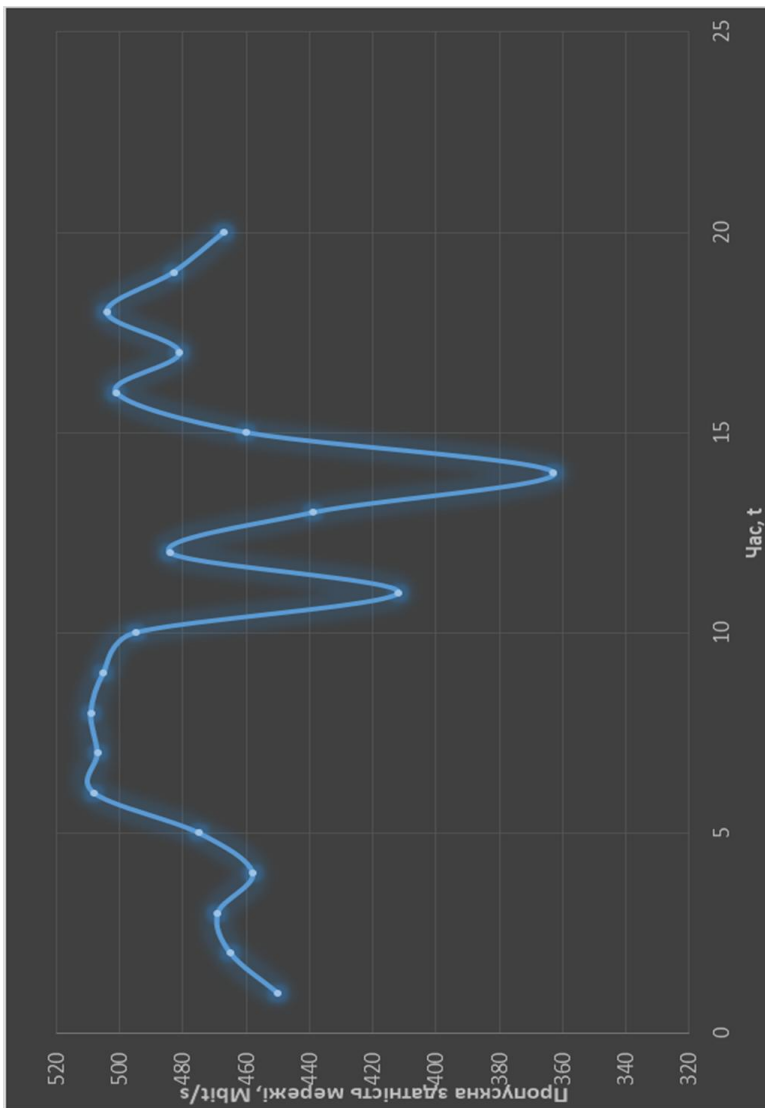
З протоколом ознайомлений та примірник № 2 отримав:

директор «ННІФТКН» _____

Додаток № 1

Графік швидкості передачі даних (завантаження)

з 12:51:13 15.10.2022 року до 20:18:21 15.10.2022 року



Список літератури:

1. <https://iperf.fr/>
2. <https://dc.volia.com/blog/post/testirovanie-propusknoj-sposobnosti-kanala-s-pomosu-iperf3>
3. <https://www.speedtest.net>
4. Douglas E. Comer. Internetworking with TCP/IP, Vol. 1: Principles, Protocols and Architecture
5. Комп'ютерні мережі: [навчальний посібник] / А. Г. Микитишин, М. М. Митник, П. Д. Стухляк, В. В. Пасічник. — Львів: «Магнолія 2006», 2013. — 256 с. ISBN 978-617-574-087-3
6. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі: підручник / Євген Вікторович Буров. — Львів: «Магнолія 2006», 2010. — 262 с. ISBN 966-8340-69-8
7. Вільям Р. Станек. Командний рядок Microsoft Windows. 2004. — С. 480.

Лабораторна робота № 2 “Дослідження режимів роботи випрямного пристрою”

1. Мета роботи.

Вивчення принципів структурної, функціональної, схемотехнічної побудови й функціонування випрямних пристроїв, дослідження основних їхніх характеристик та особливостей роботи.

Експериментальні дослідження фільтрувальних властивостей згладжувальних фільтрів випрямляча.

Освоєння методики експериментального визначання основних характеристик мостового випрямляча, який працює на різні типи навантаження.

2. Завдання.

2.1. Розрахувати електричні параметри схеми випрямлення за роботи на навантаження з ємнісною реакцією.

2.2. Розрахувати електричні параметри схеми випрямлення за роботи на навантаження з індуктивною реакцією.

2.3. Дослідити схему однофазного мостового випрямляча на різні види k навантаження блока випрямлення **БВ**: на активне навантаження ($k = 1$); на індуктивне навантаження ($k = 2$); на ємнісне навантаження ($k = 3$); на Γ -подібний **LC**-фільтр ($k = 4$); на Π -подібний **CLC**-фільтр ($k = 5$).

- Дослідити зовнішні (навантажувальні) характеристики випрямляча.

- Визначити вихідні опори випрямляча.

- Визначити відсоткові зниження вихідних напруг випрямляча.

- Дослідити фільтрувальні властивості згладжувальних фільтрів випрямляча $K_{пв}, K_{пн}, K_{пвU}, K_{пнU}, S_i, S_U = f(I_n)$.

- Дослідити процеси функціонування випрямляча.

2.4. Сформулювати висновки та оформити звіт.

3. Опис схеми.

Схема призначена для дослідження мостового випрямляча і реалізована на базі програмного продукту Multisim. На рис.3.1 приведена схема випрямляча (схема Греча).

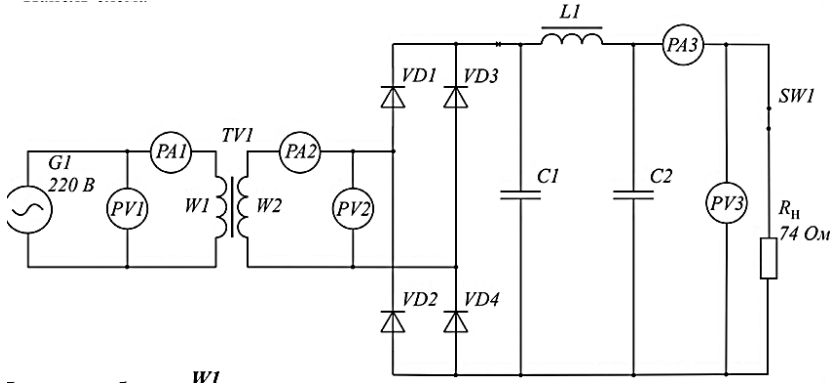


Рис. 3.1 – Схема мостового випрямляча. Параметри обмоток $W1, W2$. $G1=220$ В. $PV1= 217,49$. $PA1=96,83$ mA. $PV2= 21,75$. $PA2=817,28$ mA. $PV3= 27,95$. $PA3=377,68$ mA. Регулюється напруга $G1$ та опір навантаження R_H .

Модифікація схеми рис. 3.1. дозволяє отримати п'ять різних видів навантаження блока випрямлення **БВ**: рис. 3.2 - активне навантаження ($k = 1$); рис. 3.3 - індуктивне навантаження ($k = 2$); рис. 3.4 - ємнісне навантаження ($k = 3$); рис. 3.5 - Г-подібний LC-фільтр ($k = 4$); рис. 3.6 - П-подібний CLC-фільтр ($k = 5$).

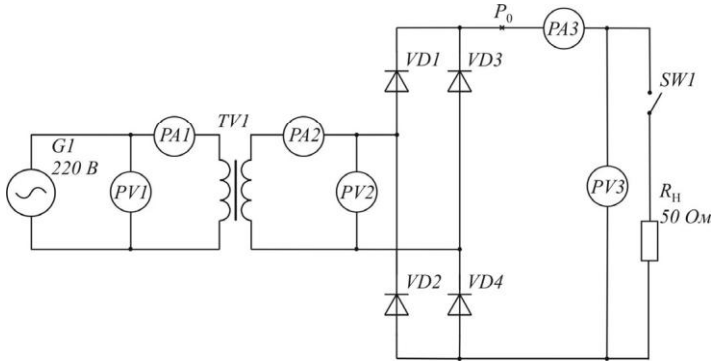


Рис. 3.2 – Схема випрямляча з активним навантаженням ($k = 1$)

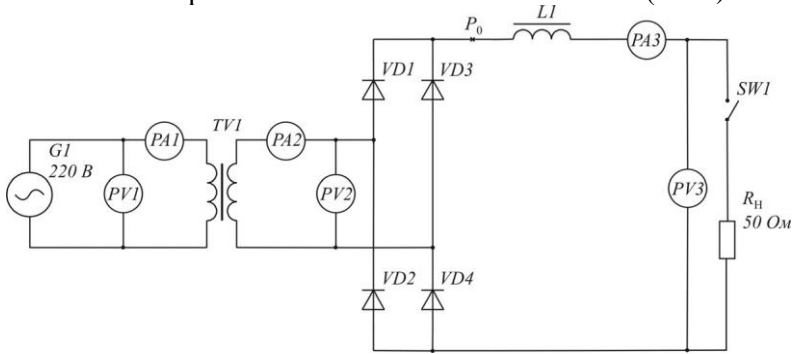


Рис. 3.3 Схема випрямляча з індуктивним навантаження ($k = 2$)

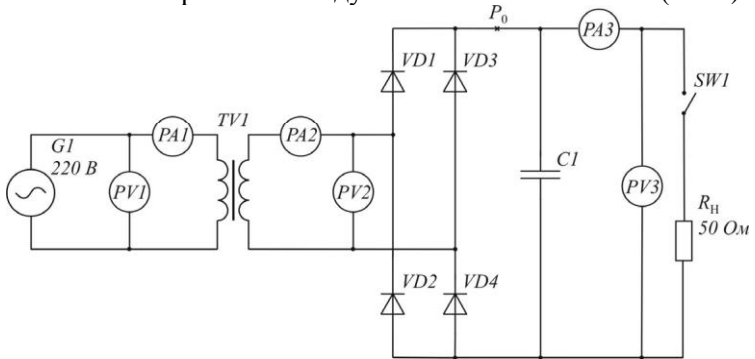


Рис. 3.4 Схема з активно-ємнісим навантаженням ($k = 3$)

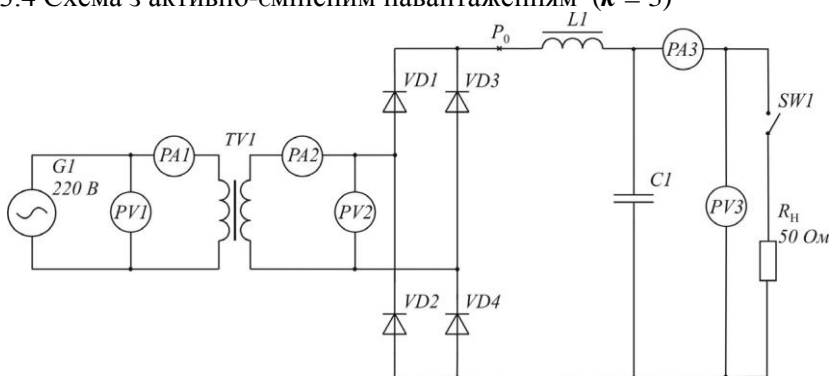


Рис. 3.5 Схема випрямляча з Г-подібним LC фільтром ($k = 4$)

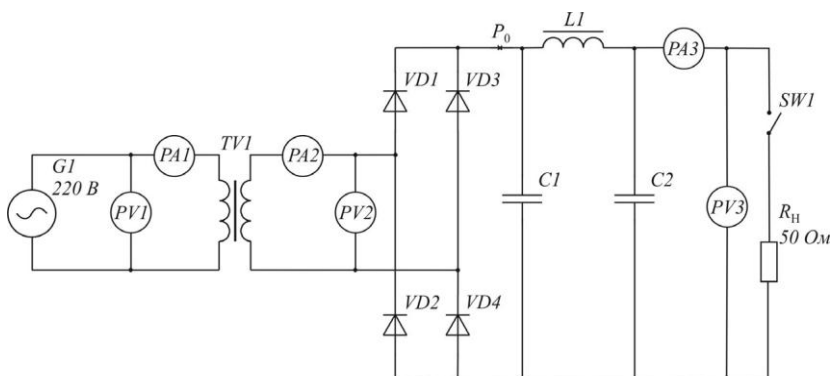


Рис. 3.6 – Схема випрямляча з П-подібним CLC фільтром ($k = 5$)

Стислий опис досліджуваних схем наведено в табл. 3.1

Таблиця 3.1

Опис досліджуваних схем

k	Позначення в макеті	Опис	№ рис.
1	Активне навантаження	Схема випрямляча без згладжувального фільтра з активним навантаженням. Елементи $L1$, $C1$ й $C2$ не використовую-	3.2

		ються	
2	Індуктивний фільтр	Схема випрямляча з активно-індуктивним навантаженням. Елементи <i>C1</i> й <i>C2</i> не використовуються	3.3
3	Ємнісний фільтр	Схема випрямляча з активно-ємнісним навантаженням. Елементи <i>L1</i> й <i>C2</i> не використовуються	3.4
4	Г-подібний фільтр	Робота випрямляча з Г-подібним <i>LC</i> фільтром. Конденсатор <i>C2</i> не використовується	3.5
5	П-подібний фільтр	Робота випрямляча з П-подібним <i>LC</i> фільтром	3.6

Схема містить:

- джерело синусоїдної напруги *GI*;
- трансформатор *TV1*;
- блок випрямлення *BB* – блок напівпровідникових діодів *VD1...VD4*;
- згладжувальний фільтр – елементи *C1, C2, L1*;
- регульований опір R_n кола навантаження;
- вимикач *SW1* опору R_n кола навантаження;
- чотириканальний осцилограф – “Осцилограф”;
- вольтметр *PV1* напруги U_1 первинної обмотки трансформатора *TV1*;
- амперметр *PA1* струму I_1 первинної обмотки трансформатора *TV1*;
- вольтметр *PV2* напруги U_2 вторинної обмотки трансформатора *TV1*;
- амперметр *PA2* струму I_2 вторинної обмотки трансформатора *TV1*;
- вольтметр *PV3* вихідної напруги – напруги U_0 кола навантаження R_n ;
- амперметр *PA3* струму I_0 навантаження R_n .

Лабораторний макет складається з джерела первинного електроживлення *GI*; трансформатора *TV1*, який забезпечує

узгодження напруги джерела первинного електроживлення з потрібною напругою навантаження; блока випрямлення **БВ** (**VD1...VD4**); згладжувального фільтра **LI, C1, C2** (залежно від схеми дослідження) та опору навантаження **R_n**, який може вимикатися за допомогою вимикача **SW1**.

Поз	Тип елемента	Регульовані параметри				Примітка
		параметр	мін	макс	од. вим.	
GI	Генератор синусоїдної напруги	вихідна напруга	198	242	В	Діюче значення, регулювання
		частота	50	400	Гц	
TVI	Трансформатор	Коефіцієнт трансформації	5	15		
VD1	Діод					
VD2	Діод					
VD3	Діод					
VD4	Діод					
LI	Дросель	Індуктивність	0,01	10	Гн	Тільки для схем 2, 4, 5
C1	Конденсатор	Ємність	50	10 000	мкФ	Тільки для схем 3, 4, 5
C2	Конденсатор	Ємність	50	10 000	мкФ	Тільки для схеми 5
R_n	Резистор	Опір	1	100	Ом	Оперативне регулювання
SW1	Вимикач	Стан	Вимк	Вмк.		Вимикач навантаження
PV1	Вольтметр					Діюче значення
PV2	Вольтметр					Діюче значення
PA1	Амперметр					Діюче значення
PA2	Амперметр					Діюче значення
PV3	Вольтметр					Середнє значення
PA3	Амперметр					Середнє значення
P₀	Контрольна точка					

Список елементів макета наведено в табл. 3.2. На панель регульованих параметрів виведено напругу генератора $G1$ та опір резистора навантаження R_n .

Діючі значення напруги U_1 та струму I_1 первинної обмотки трансформатора $TV1$ контролюються відповідно вольтметром $PV1$ та амперметром $PA1$. Діючі значення напруги U_2 та струму I_2 вторинної обмотки трансформатора $TV1$ контролюються відповідно вольтметром $PV2$ та амперметром $PA2$. Середні значення напруги $U_n = U_0$ та струму $I_n = I_0$ навантаження R_n вимірюються відповідно вольтметром $PV3$ та амперметром $PA3$.

До набору контрольно-вимірювальних приладів входить також чотириканальний осцилограф, що дозволяє спостерігати форму напруг і струмів у різних точках схеми. Синхронізація осцилографа відбувається автоматично відповідно до роботи генератора $G1$. Тому тривалість розгортки проградуїрована в частках періоду даного генератора й становить 0,1...100 періодів/екран. Список контрольних точок осцилографа наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Досліджувані параметри

Позначення	Осцилограми електричних процесів
$TV1, U1$	Напруга $u_1(t)$ первинної обмотки трансформатора $TV1$
$TV1, I1$	Струм $i_1(t)$ первинної обмотки трансформатора $TV1$
$TV1, U2$	Напруга $u_2(t)$ вторинної обмотки трансформатора $TV1$
$TV1, I2$	Струм $i_2(t)$ вторинної обмотки трансформатора $TV1$
$VD1, U$	Напруга $u_{VD1}(t)$ на діоді $VD1$
$VD1, I$	Струм $i_{VD1}(t)$ діода $VD1$
$VD2, U$	Напруга $u_{VD2}(t)$ на діоді $VD2$
$VD2, I$	Струм $i_{VD2}(t)$ діода $VD2$
$VD3, U$	Напруга $u_{VD3}(t)$ на діоді $VD3$
$VD3, I$	Струм $i_{VD3}(t)$ діода $VD3$
$VD4, U$	Напруга $u_{VD4}(t)$ на діоді $VD4$

$VD4, I$	Струм $i_{VD4}(t)$ діода $VD4$
R_n, U	Напруга $u_n(t)$ на навантаженні R_n
R_n, I	Струм $i_n(t)$ навантаження R_n
P_0, U	Напруга $u_n(t)$ на виході блока випрямлення BB
P_0, I	Вихідний струм $i_n(t)$ блока випрямлення BB
$C1, U$	Напруга $u_{C1}(t)$ на конденсаторі $C1$
$C1, I$	Струм $i_{C1}(t)$ конденсатора $C1$
$C2, U$	Напруга $u_{C2}(t)$ на конденсаторі $C2$
$C2, I$	Струм $i_{C2}(t)$ конденсатора $C2$
$L1, U$	Напруга $u_1(t)$ на дроселі $L1$
$L1, I$	Струм $i_1(t)$ дроселя $L1$

4. Послідовність виконання лабораторної роботи

4.1. Розрахунок електричних параметрів схеми випрямлення при її роботі на навантаження з ємнісною реакцією.

Розрахунок мостової схеми зводиться до визначення аналітичним шляхом величин напруг і струмів елементів схеми випрямляча. Вихідні дані:

1) постійна складова випрямленого струму $I_0 = I_n = 0,5...5A$ і постійна складова випрямленої напруги $U_0 = \pm U_n = 20...30 B$ (задаються викладачем);

2) коефіцієнт трансформації $n_{12} = 5...15...15$ трансформатора TVI ;

3) частота мережі живлення $f_m = 50...400$ Гц;

4) діюча напруга мережі живлення $U_m = U_{GI} = 198...242 B$.

У перебігу розрахунку визначається таке:

1) виконання умови роботи схеми випрямлення на навантаження з ємнісною реакцією, тобто

$$C_n \gg 1/4\pi f_m m R_n, C_n \gg 10/4\pi f_m m R_n;$$

2) основний розрахунковий коефіцієнт A , що зв'язує кут відсікання струму вентиля з параметрами схеми випрямлення, у вигляді

$$A = \operatorname{tg}\theta - \theta = \pi r_\phi / m R_n,$$

де r_ϕ – активний опір фази схеми випрямлення, у цьому разі

$r_{\phi} = 0,1 \text{ Ом}; m = 2$ – фазність схеми випрямлення;

3) ефективне значення напруги вторинної обмотки $W2$ трансформатора TVI (див. рис. 3.3):

$$U_2 = U_{2m} / \sqrt{2} = BU_{01},$$

де $B = f(A)$ визначається рівністю $B = 0,75 + 1,2A$ за $A \leq 0,5$

4) середнє значення струму фази схеми випрямлення

$$I_{\text{сеп}} = I_0/m;$$

5) ефективне (середньоквадратичне) значення струму вентиля

$$I_B = DI_{\text{сеп}},$$

де $D = f(A)$ визначається рівністю $D = 2 + 1/27 A$ за $A \leq 0,5$
ефективне значення струму вторинної обмотки трансформатора

$$I_2 = D \sqrt{2} I_{\text{сеп}}.$$

6) максимальне (амплітудне) значення струму діода та вторинної обмотки трансформатора:

$I_{2m} = FI_{\text{сеп}}$, де $F = f(A)$ визначається рівністю $F = 5 + 0,25 A$ за $A \leq 0,5$

8) ефективне значення струму $I_M = I_{GI}$, споживаного від джерела живлення, відповідно й струму I_1 первинної обмотки трансформатора:

$$I_{GI} = I_1 = I_M = n_{21} I_2 = I_2 / n_{12};$$

9) максимальна зворотна напруга, що виникає на вентилі,

$$U_{\text{зворт}} = 0,5(I+B\sqrt{2})U_0;$$

10) коефіцієнти використання вентиля за напругою k_U та струмом k_i :

$$k_U = U_{\text{зворт}}/U_0; k_i = I_{2m} / I_B;$$

11) коефіцієнт схеми

$$k_{\text{сх}} = U_0 / U_2;$$

12) коефіцієнт використання трансформатора за потужністю

$$K_{\text{тр}} = P_0/S_{\text{тр}} = 2K_1K_2/(K_1+K_2) = \sqrt{2}/BD,$$

де $K_1 = P_0/S_1$, $K_2 = P_0/S_2$ – коефіцієнт використання відповідно первинної та вторинної обмоток трансформатора;

$S_1 = I_M U_M$; $S_2 = I_2 U_2$; $S_{\text{тр}} = 0,5 (S_1 + S_2)$ – повні (габаритні) потужності обмоток первинної, вторинної й трансформатора відповідно, BA ; $P_0 = U_0 I_0 = U_n I_n$ – корисна потужність на виході випрямляча, Bn . Результати розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Результати досліджень

Величини навантаження		I_0, A	U_0, B	$I_{exp, A}$	I_B, A	$I_{Im, A}$	$I_{av, A}$	U_M, B	U_2, B	I_2, A	A	B	D	F	θ	k_U	k_t	K_{ex}	K_{np}
Ємнісне навантаження	розн.							220											
	експ.							220											
Індуктивне навантаження	розн.			-	-	-	-	220											
	експ.			-	-	-	-	220											

4.2. Розрахунок електричних параметрів схеми випрямлення за її роботи на навантаження з індуктивною реакцією.

Розрахунок схеми здійснюється за такими вихідними даними:

- 1) постійна складова випрямленого струму $I_0 = 0,5...5 A$ (задається викладачем);
- 2) постійна складова випрямленої напруги $U_0 = 20...30 B$ (задається викладачем);
- 3) коефіцієнт трансформації трансформатора $n_{12} = 5...15$;
- 4) активний опір котушки індуктивності L фільтра становить $R_\phi = 0,05 \text{ Ом}$;
- 5) частота мережі живлення $f_M = 50...400 \text{ Гц}$,
напруга

$$U_M = 198...242 B.$$

У перебігу розрахунку визначається таке:

- 1) напруга вторинної обмотки трансформатора

$$U_2 = (U_0 + \Delta U_\phi) / \sqrt{2} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} = (U_0 + \Delta U_\phi) / g,$$

де ΔU_ϕ – спадіння постійної складової випрямленої напруги на активному опорі котушки індуктивності L фільтра; g – коефіцієнт схеми випрямлення;

- 2) напруга первинної обмотки трансформатора

$$U_1 = U_M = U_{G1} = U_2 / n_{21} = U_2 n_{12};$$

- 3) ефективне значення струму через вентиль

$$I_B = I_0 / m ;$$

4) ефективне значення струму вторинної обмотки трансформатора

$$I_2 = 2 I_B ;$$

5) ефективне значення струму первинної обмотки трансформатора та струму споживаного з мережі,

$$I_1 = I_M = I_{GI} = n_{21} \sqrt{2 / m} ;$$

6) максимальна зворотна напруга на вентилялі

$$U_{\text{зворотна}} = 0,5\pi\sqrt{2}gU_{2m}/m = \pi gU_2/m = \pi(U_0 + \Delta U_\phi)/m ;$$

7) коефіцієнти використання вентиля за напругою k_U та струмом k_i :

$$k_U = \pi / 2 ; k_i = 0,707 ;$$

8) коефіцієнт схеми $k_{cx} = U_0 / U_2$;

9) коефіцієнти використання трансформатора за потужністю:

$$K_1 = P'_0 / S_1 ; K_2 = P'_0 / S_2 ; K_{TP} = P'_0 / S_{TP} ,$$

$$\text{де } P'_0 = P_0 + P_\phi = I_0(U_0 + \Delta U_\phi) ; S_1 = I_M U_M ; S_2 = I_2 U_2 .$$

Результати розрахунку занести до таблиці 7.1.

4.3. Дослідження роботи мостового випрямляча на різні види k навантаження блока випрямлення BB : на активне навантаження ($k = 1$); на індуктивне навантаження ($k = 2$); на ємнісне навантаження ($k = 3$); на Γ -подібний LC -фільтр ($k = 4$); на Π -подібний CLC -фільтр ($k = 5$).

Забезпечення необхідного варіанта k навантаження блоку випрямлення BB мостового випрямляча здійснюється за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1).

Задля забезпечення по потрібних параметрів елементів схеми та режимів роботи досліджуваної схеми випрямляча може бути використано кнопки швидкого доступу “ GI ”, “ TVI ”, “ LI ”, “ CI ”, “ $C2$ ”, “ R_n ”, “ SWI ” (див. рис. 3.1).

4.4. Дослідження зовнішніх (навантажувальних) характеристик випрямляча.

Зовнішня характеристика – це залежність напруги U_n у колі навантаження випрямляча від струму I_n навантаження: $U_n = f(I_n)$.

Методика дослідження зовнішніх характеристик полягає у виконанні наступних кроків:

- обрати перемикачем вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) потрібну схему дослідження випрямляча – “Активне навантаження” ($k = 1$ – рис. 3.2), “Індуктивне навантаження” ($k = 2$ – рис. 3.3), ... ;

- відрегувати параметри джерела GI (напругу $U_{GI} = U_{GIном}$, потрібну частоту f_m);

- відрегувати параметри трансформатора TVI – значення коефіцієнта n_{12} трансформації трансформатора;

- відрегувати параметри елементів $L1$, $C1$, $C2$ згладжувального фільтра випрямляча, установити їм номінальні значення відповідно $L1_{ном}$, $C1_{ном}$, $C2_{ном}$;

- вимкнути за допомогою вимикача SWI навантаження R_n мостової схеми випрямляння;

- розпочати моделювання;

- зняти покази вольтметра $PV3$ – вихідну напругу $U_{н вх}$ у режимі ненавантаженого стану, результат занести до таблиці 7.2 (k);

- підімкнути навантаження R_n ;

- змінюючи опір R_n навантаження від максимуму (мінімуму) до мінімуму (максимуму), зняти покази вихідної напруги U_n та струму I_n навантаження R_n . Виміряні параметри занести до таблиці 7.2 (k).

За результатами дослідження побудувати зовнішні характеристики.

Таблиця 7.2 (к)

Результати досліджень

$R_n, \text{ Ом}$	∞	100	50	25	15	10	5	3	1
$U_n, \text{ В}$									
$I_n, \text{ А}$									
$\Delta U_n, \text{ В}$									
$\Delta I_n, \text{ А}$									
$r_b, \text{ Ом}$									

4.5. Визначення вихідних опорів випрямляча.

Вихідні опори r_b випрямляча визначаються на підставі здобутих результатів вимірювань п. 7.4. 1 (див. абл. 7.2 (к)):

$$r_b = \Delta U_n / \Delta I_n;$$

$$\Delta I_n = I_{n \max} - I_n; \quad \Delta I_n = I_{n \max} - I_n,$$

де $U_{n \max}$, $I_{n \max}$ – максимальні значення відповідно напруги й струму навантаження (див. абл. 7.2 (к)).

Результати розрахунків ΔU_n , ΔI_n , r_b занести до таблиці 7.2 (к).

4.6. Визначення відсоткових знижень вихідних напруг випрямляча.

Відсоткове зниження $\Delta U_{n\%}$ вихідної напруги випрямляча при переході від ненавантаженого стану з напругою $U_{n \text{ нс}}$ до номінального навантаження з вихідною напругою $U_{n \text{ ном}}$ визначається за результатами досліджень п. 7.4.1 (див. абл. 7.2 (к)):

$$\Delta U_{n\%} = \frac{U_{n \text{ нс}} - U_{n \text{ ном}}}{U_{n \text{ нс}}} \cdot 100\%.$$

4.7. Дослідження фільтрувальних властивостей абл. у вальних фільтрів мостового випрямляча.

Для вимірювання параметрів змінних складових на виході блока випрямлення **БВ**, частоти $f_{\text{ви}}$ і розмаху $\Delta U_{\text{в}}$ напруги $u_{\text{в}}(t)$

і розмаху $\Delta I_{в\sim}$ струму $i_{в}(t)$ слід підімкнути осцилограф до контрольних точок: у першому випадку до “ P_0, U ” – напруга $u_{в}(t)$ на виході блока випрямлення **БВ**, а у другому – до “ P_0, I ” (струм $i_{в}(t)$) на виході **БВ** – див. абл.. 3.3).

Для вимірювання параметрів змінних складових у колі навантаження випрямляча – частоти f_{nu} і розмаху $\Delta U_{н\sim}$, напруги $u_{н}(t)$ і розмаху $\Delta I_{н\sim}$ струму $i_{н}(t)$ – слід підімкнути осцилограф (див. рис. В.13 розділу В.1) до контрольних точок: у першому випадку – до “ $R_{н}, U$ ” – напруга $u_{н}(t)$ навантаження $R_{н}$ випрямляча (див. абл.. 3.3), а у другому – “ $R_{н}, I$ ” – струм $i_{н}(t)$ у колі навантаження $R_{н}$ випрямляча.

Експериментальні значення частот $f_{ви}$ та f_{nu} досліджуваних процесів визначаються за осцилограмами відповідно $u_{в}(t)$ та $u_{н}(t)$. Для цього слід виміряти за маскою осцилографа тривалість періоду T спостережуваної кривої, використовуючи значення величини n множника «Час/Поділлка» однойменного перемикача осцилографа. Вимірюваний інтервал T визначається добутком двох величин $T = nl$: довжини l вимірюваного/інтервалу часу на екрані за горизонталлю в поділках і значення величини n часу на поділку у даному положенні перемикача «Час/Поділлка». У цьому разі

$$f = 1/T = 1/(ln).$$

При вимірюванні параметрів змінних складових ($f_{ви}$, $\Delta U_{в\sim}$, $\Delta I_{в\sim}$, f_{nu} , $\Delta U_{н\sim}$, $\Delta I_{н\sim}$) осцилограф використовується в режимі закритого входу підсилювача вертикального посилення.

Методика дослідження фільтрувальних властивостей абл. у вальних фільтрів припускає виконання таких кроків (результати вимірювань занести до таблиці 7.3 (k)):

- обрати перемикачем вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) потрібну схему дослідження випрямляча – “**Активне навантаження**” ($k = 1$ – рис. 3.2), “**Індуктивне навантаження**” ($k = 2$ – рис. 3.3), ... ;

- відредагувати параметри трансформатора TVI – значення коефіцієнта n_{12} трансформації трансформатора (див. рис. 3.1 – кнопку “ TVI ”);

- відредагувати параметри джерела GI (напругу $U_{GI} = U_{GI ном}$, потрібну частоту f_m), використовуючи кнопку “ GI ” на панелі елементів (див. рис. 3.1) задля появи вікна редагування;

- відредагувати параметри елементів $L1$, $C1$, $C2$ згладжувальних фільтрів випрямляча, використовуючи кнопки відповідно “ $L1$ ”, “ $C1$ ”, “ $C2$ ” на панелі редагування (див. рис. 3.1), установити їм номінальні значення відповідно $L1_{ном}$, $C1_{ном}$, $C2_{ном}$;

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт” – рис. 3.1;

- установити опір $R_n = R_{ном}$ у колі навантаження випрямляча, використовуючи орган регулювання – повзунок “ R_n ” (див. рис. 3.1), що забезпечує значення струму $I_n = I_{н ном}$;
зняти покази індикації опору R_n , вольтметра $PV3$ й амперметра

РА3. Результати вимірювань R_n , U_n й $I_{н ном}$ занести до таблиці

7.3 (k);

- виміряти розмах $\Delta U_{вн}$ і частоту $f_{вн}$ пульсації напруги на виході блоку випрямлення **БВ** за осцилограмою напруги напруги $u_{вн}(t)$

(контрольна точка P_0 , U відповідно до абл. 3.3);

- виміряти розмах $\Delta I_{вн}$ пульсації струму на виході блока випрямлення **БВ** за осцилограмою напруги $i_{вн}(t)$ (P_0 , I);

- виміряти розмах $\Delta U_{нн}$ і частоту $f_{нн}$ пульсації напруги в колі навантаження випрямляча за осцилограмою напруги напруги $u_{нн}(t)$ (контрольна точка $R_{нн}$, U відповідно до абл. 3.3);

- виміряти розмах $\Delta I_{нн}$ пульсації струму в колі навантаження випрямляча за осцилограмою напруги $i_{нн}(t)$ ($R_{нн}$, I – абл. 3.3);

- виконати аналогічні вимірювання за струмів I_n навантаження, $0,75I_{н ном}$, $0,5I_{н ном}$ й $0,25I_{н ном}$, використовуючи орган регулювання – повзунок “ R_n ” – див. рис. 3.1 (результати досліджень занести до таблиці 7.3 (k));

- дослідження з даної методики виконати для всіх видів k навантаження блока випрямлення ($k = 1, 2, \dots, 5$);

- виконати аналогічні вимірювання за різних значень ємності $C1$ для варіантів $k = 3, 4, 5$ – результати досліджень занести до таблиці 7.4 (k);

- виконати аналогічні вимірювання за різних значень індуктивності дроселя LI для варіантів $k = 2, 4, 5$ – результати досліджень занести до таблиці 7.3 (k);

- використовуючи результати експерименту (таблиці 7.3 (k), 7.4 (k), 7.5 (k)), розрахувати й заповнити розрахункову частину даних таблиць з урахуванням наведених нижче співвідношень. Результати експерименту дозволяють визначити нормовані частоти:

$$\bar{f}_{vu} = f_{vu}/f_M; \quad \bar{f}_{nu} = f_{nu}/f_M.$$

Коефіцієнти пульсацій на виході блока випрямлення BB (струму $K_{пв}$ і напруги $K_{пвU}$), у колі навантаження (струму $K_{пн}$ і напруги $K_{пнU}$) випрямляча:

$$K_{пв} = \frac{\Delta I_{в\sim}}{2I_{н}}; \quad K_{пн} = \frac{\Delta I_{н\sim}}{2I_{н}};$$

$$K_{пвU} = \frac{\Delta U_{в\sim}}{2U_{н}}; \quad K_{пнU} = \frac{\Delta U_{н\sim}}{2U_{н}}.$$

Коефіцієнти згладжування за струмом S_i та напругою S_U визначаються з урахуванням коефіцієнтів пульсації:

$$S_i = K_{пв}/K_{пн}, \quad S_U = K_{пвU}/K_{пнU}.$$

Результати розрахунків $f_{vu}, f_{nu}, K_{пв}, K_{пн}, K_{пвU}, K_{пнU}, S_i, S_U$ відображені в таблицях 7.3 (k), 7.4 (k), 7.5 (k).

За результатами досліджень побудувати робочі характеристики

$$K_{пвU}, K_{пнU}, S_i, S_U = f(I_{н}, CI, LI).$$

Таблиця 7.3 (к)

Результати досліджень

№ вим.	Експериментальна частина								Розрахункові дані							
	$I_{n\rightarrow A}$	$U_{n\rightarrow B}$	$f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{B\rightarrow A}$	$\Delta I_{B\rightarrow A}$	$\Delta f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{n\rightarrow B}$	$\Delta I_{n\rightarrow A}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$K_{\text{нв}}$	$K_{\text{нв}U}$	$K_{\text{нн}}$	$K_{\text{нн}U}$	S_f	S_U
1																
2																
...																

Таблиця 7.4 (к)

Результати досліджень

№ вим.	Експериментальна частина								Розрахункові дані							
	$CI, \text{мкФ}$	$I_{n\rightarrow A}$	$U_{n\rightarrow B}$	$f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{B\rightarrow A}$	$I_{B\rightarrow A}$	$f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{n\rightarrow B}$	$\Delta I_{n\rightarrow A}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$K_{\text{нв}}$	$K_{\text{нв}U}$	$K_{\text{нн}}$	$K_{\text{нн}U}$	S_f
1																
2																
...																

Таблиця 7.5 (к)

Результати досліджень

№ вим.	Експериментальна частина								Розрахункові дані							
	$LI, \text{мГн}$	$I_{n\rightarrow A}$	$U_{n\rightarrow B}$	$f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{B\rightarrow A}$	$\Delta I_{B\rightarrow A}$	$f_{\text{вим}, \Gamma\Omega}$	$\Delta U_{n\rightarrow B}$	$\Delta I_{n\rightarrow A}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$\bar{f}_{\text{вим}}$	$K_{\text{нв}}$	$K_{\text{нв}U}$	$K_{\text{нн}}$	$K_{\text{нн}U}$	S_f
1																
2																
...																

4.8. Дослідження процесів функціонування випрямляча

Оберіть перемикачем вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) потрібну схему дослідження випрямляча – “Активне навантаження” ($k = 1$ – рис. 3.2), “Індуктивне навантаження” ($k = 2$ – рис. 3.3), ...

Встановіть, використовуючи орган регулювання (повзунок “ R_n ” – рис. 3.1) опору навантаження R_n , струм I_n , який дорівнює номінальному значенню $I_n = I_n \text{ ном.}$. Зарисуйте осцилограми напруги $u_1(t)$ первинної обмотки трансформатора $TV1$, струму $i_1(t)$ первинної обмотки трансформатора

$TV1$, струмів $i_{VD1}(t)$, $i_{VD2}(t)$, $i_{VD3}(t)$, $i_{VD4}(t)$ відповідно діодів $VD1$, $VD2$, $VD3$, $VD4$, вихідного струму $i_b(t)$ випрямляча напруги $u_n(t)$ на навантаженні R_n й т. д. (відповідно до табл. 3.3). При зображенні осцилограм слід дотримуватись однакового масштабу на осі часу, початки координат кожного графіка повинні перебувати на одній вертикальній лінії.

Обов'язково слід прагнути при зображенні осцилограм зберігати їхні амплітудні й часові співвідношення, тому що це є суттєво для аналізу. Тривалість розгортки осцилографа добирають у такий спосіб, щоби на робочій частині екрана містилося 1,5...2 періоди спостережуваної осцилограми. Під кожною зображеною осцилограмою слід позначити, до якої фізичної величини вона належить.

Кут відсікання струму θ в режимі ємнісного навантаження визначається в розрахунковій частині зі співвідношення

$$A = \operatorname{tg} \theta - \theta,$$

а в перебігу експериментальної перевірки – за осцилограмою струму $i_b(t)$ на виході блока випрямлення. За осцилограмою визначають величину

T – період повторювання імпульсів струму в лінійних одиницях екрана осцилографа – і величину t_i – тривалість імпульсу струму – у таких самих лінійних одиницях. Після цього відзначають величину θ , використовуючи рівність

$$\theta = 360 t_i / 2T, \text{ ел. град.}$$

Щоби експериментальним шляхом відзнати значення A , слід перейти до радіанної міри величини θ ($\theta = 360 t_i / 2T$, ел. град.).

Параметри B , D , F визначаються у зазначений у поясненні до п. 6.2 спосіб з використанням здобутого значення A . Величини I_b (діюче значення струму вентиля), I_{2m} (максимальне значення струму вентиля), $K_{тр}$ (коефіцієнт використання

трансформатора за потужністю) розраховуються за експериментальними даними з використанням співвідношення п. 7.2 (або п. 7.3).

Порівнювання розрахунку та експерименту здійснюється шляхом зіставлення величин, обмірюваних приладами або розрахованих за їхніми показниками з відповідними величинами перевірного розрахунку. Результати вимірювань та розрахунку зводяться до таблиці 7.1 (за $I_{н ном} = I_0$ та $U_{н ном} = U_0$).

5. Висновки за результатами роботи.

Використовуючи результати досліджень зобразіть в одній системі координат зовнішні характеристики випрямляча

$$U_n = f(I_n).$$

Висновки щодо виконаної роботи мають містити стисло й чітко сформульовані положення, в яких має бути розкрито суть розглянутих явищ чи здобутих графічних залежностей. Висновки повинні не констатувати зовнішні ознаки, а пояснювати їх, установлюючи єдність теорії й експерименту, з'ясовуючи засадничу відмінність одного випадку від іншого (наприклад, відмінності у формі струму через вентиль за різного характеру навантаження, нелінійність чи то, навпаки, лінійність зовнішньої характеристики тощо). У висновках має бути відбито осмислення результатів лабораторного дослідження. Поміж відповідями на контрольні запитання й висновками щодо роботи має існувати безпосередній зв'язок. Проробляння контрольних запитань дозволить його виявити. Висновки не повинні повторювати змісту роботи.

6. Зміст звіту

Звіт має містити:

- схеми й діаграми роботи однофазного мостового випрямляча на різні види навантаження ($k = 1, 2, \dots, 5$) блока випрямлення **БВ**: на активне навантаження ($k = 1$); на індуктивне навантаження ($k = 2$); на ємнісне навантаження ($k = 3$); на Г-подібний **LC**-фільтр ($k = 4$); на П-подібний **CLC**-фільтр ($k = 5$).

- результати досліджень; таблиці з результатами експерименту й розрахунку; графіки робочих характеристик: U_n , ΔU_n , $g_v = f(I_n)$; $K_{пв}U$, $K_{пн}U$, S_i , $S_U = f(I_n, C_1, L_1)$; осцилограми досліджуваних напруг та струмів в елементах і колах схеми випрямного пристрою;
- висновки щодо аналізу результатів дослідження.

7. Контрольні запитання

7.1 За яких обмежень виведено розрахункові співвідношення, що характеризують процес випрямлення в досліджуваній схемі за навантаження ємнісного та індуктивного характеру?

7.2 Що таке кут відсікання струму вентиля, чи залежить він від величини струму навантаження?

7.3 Чим пояснити нелінійний вигляд зовнішньої характеристики схеми випрямлення за навантаження ємнісного характеру?

7.4 Чи існують переваги роботи схеми на навантаження ємнісного характеру, якщо так, то в чому вони полягають?

7.5 Чому графік зовнішньої характеристики за навантаження ємнісного характеру розташовується над графіком зовнішньої характеристики навантаження індуктивного характеру?

7.6 В чому полягають переваги й недоліки мостової схеми випрямлення? Наведіть її порівняльну оцінку з іншими схемами випрямлення.

7.7 Що таке "коефіцієнт використання трансформатора"?

7.8 Яку форму матиме струм у первинній обмотці трансформатора в мостовій схемі? В який спосіб ця форма пов'язана з формою струму у вторинній обмотці?

7.9 Від чого залежить величина змінної складової у випрямленій напрузі за навантаження ємнісного та індуктивного характеру?

7.10 Як визначити к. к. д. випрямляча теоретично й за даними, здобутими експериментально?

7.11 Поясніть роботу схеми випрямляча за активного, індуктивного та ємнісного характеру навантаження.

7.12 Поясніть діаграми випрямленої напруги $u_B(t)$, струму $i_B(t)$ у колі навантаження, струму через діод $i_d(t)$, струму $i_2(t)$ вторинної обмотки трансформатора за активного, індуктивного та ємнісного характеру навантаження.

7.13 Зробіть порівняння схем для різного характеру навантаження, використовуючи основні співвідношення струмів, напруг та потужностей.

7.14 Поясніть зовнішні характеристики випрямляча за роботи на активне, індуктивне та ємнісне навантаження.

7.15 У чому полягає відмінність між осцилограмами, здобутими при виконванні даної лабораторної роботи, і осцилограмами, наведеними в домашньому завданні для індуктивного та ємнісного характерів навантаження?

7.16 Назвіть переваги й недоліки мостової схеми випрямлення в порівнянні з іншими однофазними схемами випрямлення.

7.17 Перелічіть всі типи згладжувальних фільтрів. Поясніть особливості їхнього функціонування.

7.18 Дайте означення основних параметрів згладжувальних фільтрів. Основні показники якості й вимоги, пропоновані щодо згладжувальних фільтрів.

7.19 Дайте порівняльну оцінку згладжувальних фільтрів, досліджуваних у даній лабораторній роботі.

7.20 У яких випадках доцільно використовувати фільтри, які складаються тільки з ємності чи лише з однієї індуктивності?

Лабораторна робота № 3 “Дослідження трифазних схем випрямлячів”

1. Мета роботи.

Вивчення принципів побудови й функціонування схем випрямних пристроїв та особливостей їхньої схемотехнічної реалізації.

Вивчення принципів функціонування трифазних однотактної і двотактної мостової схем випрямлення. Експериментальне дослідження їхніх характеристик та електромагнітних процесів.

Освоєння методики експериментального визначення основних характеристик багатофазних випрямлячів.

2. Лабораторне завдання. Зміст роботи

2.1. Вивчити теоретичний матеріал за рекомендованою літературою. Призначення, особливості структурної, функціональної, схемотехнічної побудови трифазних випрямних пристроїв, а також особливості процесів їхнього функціонування. Ознайомитись з описом лабораторного макета, поданого в розд. 3.

2.2. Дослідити багатофазні схеми випрямлячів двох типів (трифазну однотактну ($k = 1$) та трифазну мостову ($k = 2$) за активного та індуктивного характеру навантаження.

2.2.1. Дослідити зовнішні (навантажувальні) характеристики випрямлячів.

2.2.2. Визначити вихідні опори випрямлячів.

2.2.3. Визначити відсоткові зниження вихідних напруг випрямлячів.

2.2.4. Визначити коефіцієнти використання за потужністю обмоток трансформатора *TVI*.

2.2.5. Дослідити процеси функціонування випрямлячів за активного та індуктивного характеру навантаження:

- пульсації у вихідному колі блока випрямлення **BB** й у колі навантаження випрямляча;
- процеси комутації (перекриття фаз);

- електричні процеси (струми та напруги) в елементах і колах випрямляча.
- 2.3. Опрацювати дослідні дані. Сформулювати висновки за результатами лабораторної роботи.

3 Опис лабораторного макета

Лабораторний макет (рис. 3.1) призначено для дослідження трифазних схем випрямлення двох типів (трифазної однотактної – $k = 1$ та трифазної мостової – $k = 2$) за активного й індуктивного характеру навантаження.

Стислий опис досліджуваних схем наведено у табл. 3.1, список елементів макета – в табл. 3.2, список досліджуваних параметрів – в табл. 3.3, список елементів макета – в табл. 3.2.

Лабораторний макет містить:

- джерело (генератор) **GI** трифазної синусоїдної напруги;
- трифазний трансформатор **TV1**;
- блок випрямлення **BB** – блок напівпровідникових діодів **VD1...VD3** (трифазна однотактна схема) і **VD1...VD6** (трифазна мостова схема);
- згладжувальний фільтр, утворений дроселем **LI**;
- опір **R_н** навантаження випрямляча;
- вимикач **SW1** навантаження **R_н** випрямляча;
- вимикач **SW2** дроселя **LI**;
- чотириканальний осцилограф – “Осцилограф”;
- вольтметр **PVI** напруги U_a фази **a** обмотки вищої напруги – первинної обмотки трансформатора **TV1**;

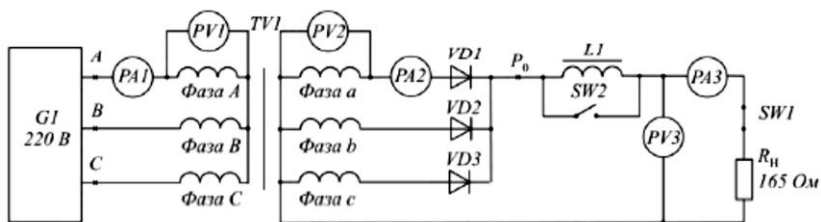


Рис. 3.1 – Лабораторний макет. Параметри фаз А, а. $G1=220\text{ В}$. $PV1= 220,00$. $PA1=10,56\text{ мА}$. $PV2= 21,94$. $PA2=88,02\text{ мА}$. $PV3= 24,86$. $PA3=150,68\text{ мА}$. Регулюється напруга $G1$ та опір навантаження R_n .

- амперметр $PA1$ струму I_A фази A обмотки вищої напруги;
- вольтметр $PV2$ напруги U_a фази a обмотки нижчої напруги – вторинної обмотки трансформатора $TV1$;
- амперметр $PA2$ струму I_a фази a обмотки вищої напруги;
- вольтметр $PV3$ напруги U_n навантаження випрямляча;
- амперметр $PA3$ струму I_n навантаження випрямляча.

Таблиця 3.1 – Опис досліджуваних схем

Позначення в макеті	Опис	№ рис.
Трифазна	Трифазна однопівперіодна схема (схема Міткевича). Елементи $VD4...VD6$ не використовуються	3.2
Трифазна мостова	Трифазна двопівперіодна схема (схема Ларіонова)	3.3

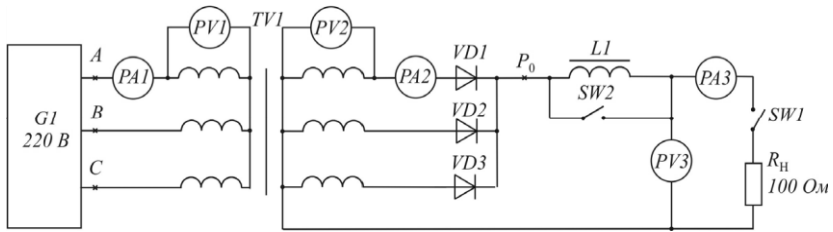


Рисунок 3.2 – Трифазна схема випрямлення ($k = 1$)

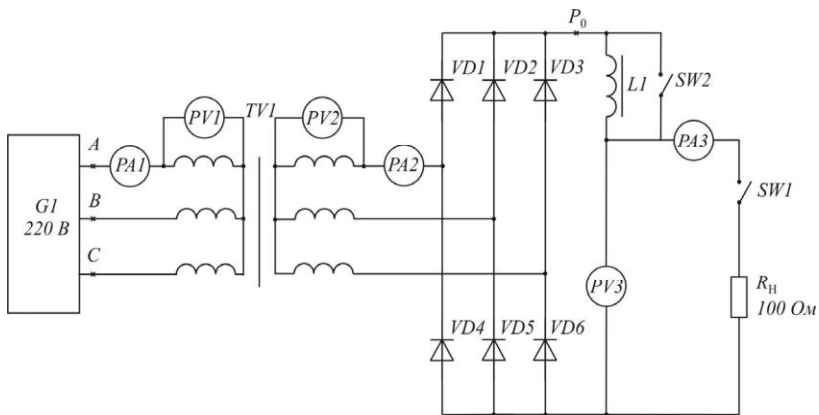


Рисунок 3.3 – Трифазна мостова схема випрямлення ($k = 2$)

Лабораторний макет складається з джерела первинного електроживлення $G1$, трансформатора $TV1$, який забезпечує узгодження напруги джерела первинного електроживлення з потрібною напругою навантаження, випрямного блока $VD1...VD3$ чи $VD1...VD6$ (залежно від схеми), згладжувального фільтра $L1$ та опору навантаження R_H , який може підмикатися за допомогою вимикача $SW1$. Список елементів макета подано у табл. 3.2. На панель оперативних регулювань виведено вихідну напругу генератора $G1$ та опір резистора навантаження R_H .

Діючі значення напруги та струму первинної U_A, I_A фази A та вторинної U_a, I_a обмоток фази a трансформатора $TV1$ контролюються відповідно вольтметрами $PV1, PV2$ й амперметрами $PA1, PA2$. Середні значення напруги $U_n = U_0$ і струму $I_n = I_0$ навантаження R_n вимірюються відповідно вольтметром $PV3$ й амперметром $PA3$.

Таблиця 3.2 - Склад лабораторного макета

Позиція	Тип елемента	Регульовані параметри				Примітка
		параметр	мін	макс	од. вим.	
GI	Трифазний генератор	вихідна напруга	198	242	В	Діюче значення, оперативне регулювання
		частота	50	400	Гц	
TV1	Трифазний трансформатор	коефіцієнт трансформації	5	15		Активний опір
		опір вторинної обмотки	0,1	1,5	Ом	
		індуктивність розсіювання	0,1	1	мГн	
VD1	Діод					
VD2	Діод					
VD3	Діод					
VD4	Діод					Тільки для схеми 2
VD5	Діод					Тільки для схеми 2
VD6	Діод					Тільки для схеми 2
LI	Дросель	Індуктивність	0,01	10	Гн	
R_n	Резистор	Опір		200	Ом	Оперативне регулювання
SW1	Вимикач	Стан	Вимк.	Вмк.		Вимикач навантаження
PV1	Вольтметр					Діюче значення

<i>PV2</i>	Вольтметр					Діюче значення
<i>PA1</i>	Амперметр					Діюче значення
<i>PA2</i>	Амперметр					Діюче значення
<i>PV3</i>	Вольтметр					Середнє значення
<i>PA3</i>	Амперметр					Середнє значення
<i>P₀</i>	Контрольна точка					

До набору контрольно-вимірювальних приладів входить також чотириканальний осцилограф, який дозволяє спостерігати форму напруг і струмів у різних точках схеми. Синхронізація осцилографа відбувається автоматично, відповідно до роботи генератора *GI*. Тому тривалість розгортання проградуєвано в частках періоду даного генератора і становить 0,1...100 періодів/екран. Список контрольних точок осцилографа наведено у табл. 3.3. Внутрішньої пам'яті осцилографа вистачає для зберігання останнього періоду моделювання.

Таблиця 3.3 – Досліджувані параметри

Позначення	Осцилограми електричних процесів
<i>TV1, U1</i>	Напруга $u_1(t)$ первинної обмотки трансформатора <i>TV1</i>
<i>TV1, I1</i>	Струм $i_1(t)$ первинної обмотки трансформатора <i>TV1</i>
<i>TV1, U2</i>	Напруга $u_2(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TV1</i>
<i>TV1, I2</i>	Струм $i_2(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TV1</i>
<i>VD1, U</i>	Напруга $u_{VD1}(t)$ на діоді <i>VD1</i>
<i>VD1, I</i>	Струм $i_{VD1}(t)$ діода <i>VD1</i>
<i>VD2, U</i>	Напруга $u_{VD2}(t)$ на діоді <i>VD2</i>
<i>VD2, I</i>	Струм $i_{VD2}(t)$ діода <i>VD2</i>
<i>VD3, U</i>	Напруга $u_{VD3}(t)$ на діоді <i>VD3</i>

<i>VD3, I</i>	Струм $i_{VD3}(t)$ діода <i>VD3</i>
<i>VD4, U</i>	Напруга $u_{VD4}(t)$ на діоді <i>VD4</i>
<i>VD4, I</i>	Струм $i_{VD4}(t)$ діода <i>VD4</i>
<i>R_н, U</i>	Напруга $u_{н}(t)$ на навантаженні <i>R_н</i>
<i>R_н, I</i>	Струм $i_{н}(t)$ навантаження <i>R_н</i>
<i>P₀, U</i>	Напруга $u_{в}(t)$ на виході блока випрямлення <i>БВ</i>
<i>P₀, I</i>	Вихідний струм $i_{в}(t)$ блока випрямлення <i>БВ</i>
<i>C1, U</i>	Напруга $u_{C1}(t)$ на конденсаторі <i>C1</i>
<i>C1, I</i>	Струм $i_{C1}(t)$ конденсатора <i>C1</i>
<i>C2, U</i>	Напруга $u_{C2}(t)$ на конденсаторі <i>C2</i>
<i>C2, I</i>	Струм $i_{C2}(t)$ конденсатора <i>C2</i>
<i>L1, U</i>	Напруга $u_{L1}(t)$ на дроселі <i>L1</i>
<i>L1, I</i>	Струм $i_{L1}(t)$ дроселя <i>L1</i>

4. Методика виконання лабораторної роботи

4.1 Програма й порядок вивчення теоретичних питань.

Вивчити призначення, особливості структурної, функціональної, схемотехнічної побудови трифазних схем випрямлення й особливості процесів їхнього функціонування за матеріалами даної лабораторної роботи та рекомендованою літературою.

Вивчити особливості схемотехнічного виконання й функціонування лабораторного макета. Одержати у викладача контрольні запитання щодо вивченого матеріалу і підготувати відповіді на них. Уточнити у викладача форму та обсяг їхнього подання у звіті.

4.2 Дослідження багатофазних схем випрямлення двох типів (трифазної однотактної ($k = 1$) та трифазної мостової ($k = 2$) за активного й індуктивного характеру навантаження.

Забезпечення необхідної схеми дослідження, – трифазної однотактної ($k = 1$ – рис. 3.2) і трифазної мостової

($k = 2$ – рис. 3.3) – здійснюється за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1).

Для забезпечення необхідних параметрів елементів схеми та режимів роботи досліджуваного випрямляча може бути використано кнопки швидкого доступу “GI”, “TVI”, “LI”, “R_n”, “SW1”, “SW2” (рис. 3.1).

4.2.1 Дослідження зовнішніх (навантажувальних) характеристик випрямлячів.

Зовнішня характеристика схеми випрямлення являє собою залежність $U_n = f(I_n)$ вихідної напруги випрямляча U_n від струму I_n за

$$U1 = U_m = U_{GI \text{ ном}} = \text{const} \quad (U_A = U_B = U_C = U_{GI \text{ ном}} = \text{const}).$$

Поступово збільшуючи струм навантаження до максимального значення, зафіксувати у всьому діапазоні змінювання струму навантаження 5...7 його значень, які рівномірно розбивають діапазон вимірювань. Виміряти за цих значень струму I_n величини R_n , I_a , U_a , U_n , $U_1 = U_{GI}$, $I_1 = I_{GI}$. Задані значення занести до таблиці 7.1 (k), де k – тип схеми випрямляча.

Таблиця 7.1 (k) – Результати досліджень

№ вим.	Дослідні данні							Розрахункові дані							
	R_n, OM	I_n, A	U_n, B	U_a, B	U_1, B	I_1, A	I_a, A	$\Delta U_n, \text{B}$	$\Delta I_n, \text{A}$	S_1, BA	I_n, OM	S_2, BA	P_n, BT	K_1	K_2

Методика визначання зовнішньої характеристики є така:

- за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) обрати тип схеми випрямляча – “Трифазна однотактна” ($k = 1$), або “Трифазна мостова” ($k = 2$);

- відрегуувати параметри джерела GI (фазна напруга $U_A = U_B = U_C = U_{GI \text{ ном}}$, робоча частота $f_m = f_{m \text{ ном}}$), використовуючи кнопку “ GI ” на панелі елементів (див. рис. 3.1) задля появи вікна редагування;

- відрегуувати параметри трансформатора TVI : установити потрібний коефіцієнт трансформації n_{12} та активний опір

$r_2 = r_{2 \text{ ном}}$ вторинних обмоток трансформатора TVI фази a (r_a), фази b (r_b), фази c (r_c) ($r_a = r_b = r_c = r_{2 \text{ ном}}$);

- відрегуувати параметри дроселя LI : установити номінальне значення індуктивності дроселя $LI = LI_{\text{ном}}$;

- використовуючи вимикач $SW2$ (див. рис. 3.1), забезпечити потрібний характер навантаження: за активного характеру навантаження вимикач $SW2$ переводиться до замкненого провідного стану, за індуктивного характеру – до розімкненого непровідного стану;

- вимкнути навантаження, перевівши вимикач $SW1$ до розімкненого непровідного стану;

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;

- зняти покази вольтметрів $PV1$, $PV2$ та $PV3$ відповідно напруг U_A , U_a первинної та вторинної обмоток трансформатора TVI фаз A та a й $U_{н \text{ ис}}$ – напруги ненавантаженого стану на виході випрямляча. Результат занести до таблиці 7.1 (k);

- підімкнути опір R_n навантаження, перевівши вимикач $SW1$ до замкненого провідного стану;

- змінюючи опір R_n навантаження (використовуючи повзунок “ R_n ” – див. рис. 3.1, правий нижній кут) від мінімуму (максимуму) до максимуму (мінімуму) (наприклад, $R_n = 1, 2, 5, 10, 25, 50$ та 100 Ом), зняти покази вольтметрів $PV1$, $PV2$ та $PV3$ відповідно напруг U_A та U_a фаз A та a трансформатора TVI та U_n – напруги в колі навантаження випрямляча, амперметрів $PA1$, $PA2$ та $PA3$ відповідно струмів I_A та I_a , споживаних від фаз A та a , і струму I_n у колі

навантаження випрямляча. Результати вимірювань занести до таблиці 7.1 (**k**), де відбити й значення

$$I_1 = IGI, U_1 = UGI \text{ ном};$$

• за результатами дослідження побудувати зовнішні характеристики.

4.2.2 Визначання вихідних опорів випрямлячів.

Вихідний опір випрямляча визначається на підставі здобутих результатів вимірювань п. 7.2. 1 (див. табл. 7.1 (**k**)) за формулою $r_b = \Delta U_n / \Delta I_n$,

де $U_n = U_n \text{ max} - U_n$; $I_n = I_n \text{ max} - I_n$; $U_n \text{ max}$, $I_n \text{ max}$ – максимальні значення відповідно напруги й струму навантаження (див. табл. 7.1 (**k**)).

4.2.3 Визначення відсоткових знижень вихідних напруг випрямлячів.

Відсоткове зниження $\Delta U_{n\%}$ вихідної напруги випрямляча при переході від ненавантаженого стану з напругою $U_{n \text{ нс}}$ до номінального навантаження з вихідною напругою $U_{n \text{ ном}}$ визначається у вигляді

$$\Delta U_{n\%} = \frac{U_{n \text{ нс}} - U_{n \text{ ном}}}{U_{n \text{ нс}}} \cdot 100\% .$$

4.2.4 Визначення коефіцієнта використання за потужністю обмоток трансформатора **TVI**.

Коефіцієнт використання за потужністю трансформатора $K_{\text{тр}}$ та його первинних K_1 і вторинних K_2 обмоток у схемах випрямляча визначається у вигляді

$$K_{\text{тр}} = P_n / S_{\text{тр}}; \quad K_1 = P_n / S_1; \quad K_2 = P_n / S_2;$$

$$S_1 = 3U_1 I_1; \quad S_2 = 3U_2 I_2; \quad S_{\text{тр}} = (S_1 + S_2) / 2;$$

$P_n = I_n U_n$, де P_n – активна потужність у колі навантаження випрямляча;

$S_{\text{тр}}$, S_1 , S_2 – габаритні потужності відповідно трансформатора **TVI** і його первинних та вторинних обмоток.

Для визначення коефіцієнта використання за потужністю первинної й вторинної обмоток, а також усього трансформатора в кожній зі схем випрямляння за

навантаження активного й індуктивного характеру треба встановити номінальну величину струму $I_{н\text{ ном}}$ навантаження, виміряти покази приладів $PA1$, $PA2$ й $PA3$, $PV1$, $PV2$ й $PV3$ і дані занести до таблиці 7.2.

4.2.5 Дослідження процесів функціонування трифазних схем випрямлячів.

Для дослідження процесів функціонування в схемах випрямлення необхідно, використовуючи перемикач вибору схеми дослідження, обрати (див. рис. 3.1) потрібну схему (з активним чи індуктивним характером навантаження).

Дослідження пульсацій у вихідних колах блока випрямлення BB та навантаження випрямляча

Для вимірювання параметрів змінних складових на виході блока випрямлення BB частоти $f_{ви}$ та розмаху $\Delta U_{в-}$ напруги $u_0(t)$ і розмаху $\Delta I_{в-}$ струму $i_0(t)$ слід підімкнути (див. рис. В.13 підрозд. В.1) осцилограф до контрольних точок (див. табл. 3.2): у першому випадку до " P_0, U " – напруга $u_0(t)$ на виході блока випрямлення BB , а в другому – до " P_0, I " – струм $i_0(t)$ на виході блока випрямлення BB .

Для вимірювання параметрів змінних складових у колі навантаження випрямляча частоти $f_{н\text{ и}}$ і розмаху $\Delta U_{н-}$ напруги $u_n(t)$ і розмаху $\Delta I_{н-}$ струму $i_n(t)$ треба підімкнути осцилограф (див. рис. В.13 підрозд. В.1) до контрольних точок: у першому випадку – до " R_n, U " – напруга $u_n(t)$ навантаження R_n випрямляча (див. табл. 3.2), а в другому – " R_n, I " – струм $i_n(t)$ у колі навантаження R_n випрямляча.

Експериментальні значення частот $f_{ви}$ й $f_{ни}$ досліджуваних процесів визначаються за осцилограмами відповідно $u_0(t)$ і $u_n(t)$. Для цього слід виміряти за маскою осцилографа тривалість періоду T спостережуваної кривої, використовуючи значення величини n множника "Час/Поділлка" однойменного перемикача осцилографа. Вимірюваний інтервал T визначається добутком двох величин $T = nl$: довжини l вимірюваного інтервалу часу на екрані за горизонталлю у поділках і значення величини n часу на поділку у даному положенні перемикача "Час/ Поділлка" У цьому разі

$$f = 1/T = 1/(ln).$$

Таблиця 7.2 – Результати досліджень

Параметри (вимірювані чи обчислювані)	Трифазна однотактна схема		Трифазна мостова схема	
	активне наванта- ження	індуктив не наванта- ження	активне наванта- ження	індуктив не наванта- ження
I_n, A				
U_n, B				
$I_1 = I_G, A$				
$U_1 = U_{G1}, B$				
$I_2 = I_a, A$				
$U_2 = U_a, B$				
$P_n = U_n I_n, Bт$				
$S_1 = 3 U_1 I_1, BA$				
$S_2 = 3 U_2 I_2, BA$				
$S_{тр} = (S_1+S_2)/2, BA$				
$K1 = P_n / S1$				
$K2 = P_n / S2$				
$K_{тр} = P_n / S_{тр}$				

При вимірюванні параметрів змінних складових ($f_{ви}$, $\Delta U_{в-}$, $\Delta I_{в-}$, $f_{ни}$, $\Delta U_{н-}$, $\Delta I_{н-}$) осцилограф використовується в режимі закритого входу (вимикач постійної складової ПС вимкнено – рис. В.13 підрозд. В.1) підсилювача вертикального посилення.

Методика дослідження фільтрувальних властивостей згладжувальних фільтрів припускає виконання таких кроків (результати вимірювань занести до таблиці 7.3 (k)):

- обрати перемикачем вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) потрібну схему дослідження випрямляча – “Трифазна

однофазна” ($k = 1$ – рис. 3.2), “Трифазна мостова” ($k = 2$ – рис. 3.3);

- відредагувати параметри трансформатора TVI – значення коефіцієнта n_{12} трансформації трансформатора $n_{12} = n_{12 \text{ ном}}$ (див. рис. 3.1 – кнопку “ TVI ”);

- відредагувати параметри джерела GI (напругу $U_{GI} = U_{GI \text{ ном}}$, потрібну частоту $f_m = f_{m \text{ ном}}$), використовуючи кнопку “ GI ” на панелі елементів (див. рис. 3.1) появи вікна редагування;

- відредагувати параметри елемента LI згладжувального фільтра випрямляча, використовуючи кнопку відповідно “ LI ” на панелі елементів (див. рис. 3.1), установити номінальне значення

$LI_{\text{ном}}$;

- використовуючи вимикач $SW2$ (див. рис. 3.1), забезпечити потрібний характер навантаження: за активного характеру навантаження вимикач $SW2$ переводиться до замкнутого провідного стану, за індуктивного характеру – до розімкнутого непровідного стану;

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт” – рис. 3.1;

- установити опір $R_n = R_{\text{ном}}$ у колі навантаження випрямляча, використовуючи орган регулювання – повзунок “ R_n ” (див. рис. 3.1), що забезпечує значення струму $I_n = I_{n \text{ ном}}$;

- зняти покази вольтметра $PV3$ й амперметри $PA3$. Результати вимірювань U_n й $I_{n \text{ ном}}$ занести до таблиці 7.3 (k);

- виміряти розмах $\Delta U_{v\sim}$ і частоту f_{vu} пульсації напруги на виході блока випрямлення BB за осцилограмою напруги $u_0(t)$ (контрольна точка P_0 , U відповідно до табл. 3.2);

- виміряти розмах $\Delta I_{v\sim}$ пульсації струму на виході блока випрямлення BB за осцилограмою $i_0(t)$ (контрольна точка P_0, I);

- виміряти розмах $\Delta U_{n\sim}$ і частоту f_{nu} пульсації напруги в колі навантаження випрямляча за осцилограмою напруги $u_n(t)$ (контрольна точка R_n , U відповідно до табл. 3.2);

- виміряти розмах $\Delta I_{n\sim}$ пульсації струму в колі навантаження випрямляча за осцилограмою $i_n(t)$ (R_n, I – табл. 3.2);

- виконати аналогічні вимірювання за струмів I_n навантаження,

$0,75I_{n \text{ ном}}$, $0,5I_{n \text{ ном}}$ та $0,25I_{n \text{ ном}}$, використовуючи орган регулювання – повзунок “ R_n ” – див. рис. 3.1 (результати досліджень занести до табл. 7.3 (k));

- дослідження з даної методики виконати для двох варіантів навантаження випрямляча: за активного й індуктивного характеру навантаження;

- для індуктивного характеру навантаження виконати аналогічні вимірювання за різних значень індуктивності дроселя LI – результати досліджень занести до таблиці 7.4 (k);

- використовуючи результати експерименту (табл. 7.3 (k) та 7.4 (k)), розрахувати й заповнити розрахункову частину таблиць 7.3 (k) та 7.4 (k) з урахуванням наведених далі співвідношень.

Результати експерименту дозволяють визначити нормовані частоти:

$$\bar{f}_{\text{вн}} = f_{\text{вн}} / f_{\text{м}}; \quad \bar{f}_{\text{пн}} = f_{\text{пн}} / f_{\text{м}}.$$

Коефіцієнти пульсацій на виході блока випрямлення BB (струму $K_{\text{пв}}$ та напруги $K_{\text{пв}U}$), у колі навантаження (струму $K_{\text{пн}}$ та напруги $K_{\text{пн}U}$) випрямляча визначають за формулами:

$$K_{\text{пв}} = \frac{\Delta I_{\text{вн}}}{2I_{\text{н}}}; \quad K_{\text{пн}} = \frac{\Delta I_{\text{пн}}}{2I_{\text{н}}},$$

$$K_{\text{пв}U} = \frac{\Delta U_{\text{вн}}}{2U_{\text{н}}}; \quad K_{\text{пн}U} = \frac{\Delta U_{\text{пн}}}{2U_{\text{н}}}.$$

Коефіцієнти згладжування за струмом S_i та напругою S_U визначаються з урахуванням коефіцієнтів пульсації:

$$S_i = K_{\text{пв}} / K_{\text{пн}}, \quad S_U = K_{\text{пв}U} / K_{\text{пн}U}.$$

Результати розрахунків
 $\overline{f_{\text{вн}}}$, $\overline{f_{\text{вн}}}$, $K_{\text{пв}}$, $K_{\text{пн}}$, $K_{\text{пв}U}$, $K_{\text{пн}U}$, S_i , S_U відбити в таблицях 7.3 (к) та 7.4 (к).

За результатами досліджень побудувати робочі характеристики $K_{\text{пв}}$, $K_{\text{пн}}$, $K_{\text{пв}U}$, $K_{\text{пн}U}$, S_i , $S_U = f(I_{\text{н}}, C1, L1)$.

Таблиця 7.3 (к) – Результати досліджень

№ вим.	Експериментальна частина								Розрахункові дані							
	$I_{\text{н}}, A$	$U_{\text{н}}, B$	$f_{\text{вн}}, Гц$	$\Delta U_{\text{вн}}, B$	$\Delta I_{\text{вн}}, A$	$f_{\text{вн}}, Гц$	$\Delta U_{\text{вн}}, B$	$\Delta I_{\text{вн}}, A$	ви	ни	$K_{\text{пв}}$	$K_{\text{пв}U}$	$K_{\text{пн}}$	$K_{\text{пн}U}$	S_i	S_U

Таблиця 7.4 (к) – Результати досліджень

№ вим.	Експериментальна частина								Розрахункові дані								
	$L1, мГн$	$I_{\text{н}}, A$	$U_{\text{н}}, B$	$f_{\text{вн}}, Гц$	$\Delta U_{\text{вн}}, B$	$\Delta I_{\text{вн}}, A$	$f_{\text{вн}}, Гц$	$\Delta U_{\text{вн}}, B$	$\Delta I_{\text{вн}}, A$	ви	ни	$K_{\text{пв}}$	$K_{\text{пв}U}$	$K_{\text{пн}}$	$K_{\text{пн}U}$	S_i	S_U

Дослідження процесів комутації (перекриття) фаз

Однією з основних характеристик випрямлячів з кількістю фаз вторинних обмоток дві й більше є кут γ комутації (перекриття) фаз.

Кут γ перекриття фаз визначається за допомогою осцилографа. Задля визначення кута перекриття фаз слід виконати таке:

- розпочати моделювання;
- установити номінальний струм $I_{н\text{ ном}}$ навантаження;
- підімкнути осцилограф на вихід блока випрямлення **БВ** (контрольна точка P_0 , U – див. табл. 3.2);
- обчислити величину кута перекриття фаз за допомогою формули

$$\gamma = \frac{a_u b}{a + b} = \frac{360 \cdot b}{m \cdot (a + b)}$$

де a_u , a – тривалості інтервалів роботи окремо взятої фази відповідно ідеального (за $L_b = 0$: $a_u = 360$ град/м) і реального (при $L_b \neq 0$) випрямляча; b – тривалість інтервалу одночасної роботи двох фаз.

Значення a й b у формулу слід підставляти в міліметрах чи то в числах клітин вимірювальної сітки осцилографа (рис. 7.1).

Дослідження електричних процесів трифазних схем випрямлення

За допомогою осцилографа макета спостерігати осцилограми напруг та струмів відповідно до прийнятих позначень (див. табл. 3.2):

- напруга $u_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора **ТВ1** фази a ;
- струм $i_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора **ТВ1** фази a ;
- напруга $u_0(t)$ і струм $i_0(t)$ на виході блока випрямлення **БВ** (контрольна точка P_0);
- напруга $u_n(t)$ на опорі $R_n(t)$ навантаження;

• напруга $u_{ka}(t)$ на виході пристрою керування **ПК** фази **a** і т. д. Діаграми слід зобразити в одному масштабі по горизонталі

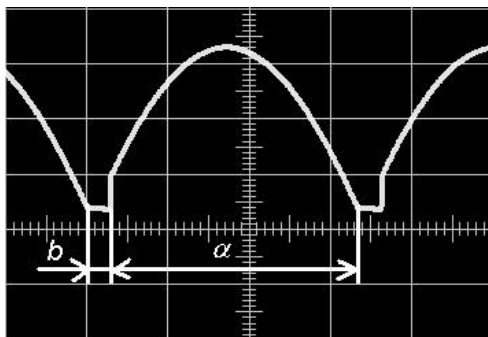


Рис. 7.1 – Визначення кута перекриття фаз

4.3. *Висновки за результатами досліджень схем випрямлення.*

Користуючись даними щодо дослідів таблиць 7.3 й 7.4, розрахувати, побудувати й виконати аналіз:

- зовнішніх характеристик досліджуваних схем випрямлення;
- коефіцієнтів використання за потужністю первинної, вторинної обмоток і трансформатора в цілому за навантажень активного й індуктивного характеру;
- процесів функціонування випрямлячів.

За здобутими результатами дослідження багатофазних схем випрямлення треба сформулювати висновки. У цих висновках слід відбити особливості процесів функціонування кожної схеми, результати аналізу схем випрямлення за основними показниками, здобутими експериментально. Висновки не повинні повторювати змісту роботи.

5 Зміст звіту

Звіт має містити:

- 5.1. Принципову електричну, функціональну й структурну схеми трифазних випрямних пристроїв;

5.2. Результати досліджень відповідно до пп. 6.1...6.3:

- таблиці з результатами вимірювань та розрахунків;
- графіки робочих характеристик

$$\overline{U_{\text{н}}}, \overline{r_{\text{в}}}, K_2 = f(I_{\text{н}});$$
$$\overline{f_{\text{ву}}}, \overline{f_{\text{ну}}}, K_{\text{пв}}, K_{\text{пн}}, K_{\text{пв}\underline{U}}, K_{\text{пн}\underline{U}}, S_{\text{в}}, S_{\text{U}} = f(I_{\text{н}}, L1);$$

• осцилограми струмів та напруг в основних колах схем випрямлення за навантаження активного й індуктивного характеру;

5.3. Висновки й порівняльну оцінку здобутих результатів.

6 Контрольні запитання

- 6.1. Чому в багатофазних схемах випрямлення найбільш оптимальним є індуктивний характер навантаження?
- 6.2. Які форми мають струми у вторинних та первинних обмотках трансформатора трифазної однофазної схеми випрямлення, яка має навантаження індуктивного характеру?
- 6.3. Те саме що й у п. 5.2, для двотактної мостової схеми випрямлення.
- 6.4. У який спосіб впливає індуктивність розсіювання трансформатора на форму струмів у фазах вторинних обмоток та форму вихідної напруги? Поясніть на прикладі трифазної однофазної схеми випрямлення, яка має навантаження індуктивного характеру.
- 6.5. Яка є форма випрямленої напруги на навантаженні шестифазної мостової схеми випрямлення?
- 6.6. Наведіть пояснення до графіків зовнішніх характеристик багатофазних схем випрямлення.
- 6.7. У який спосіб визначається к. к. д. для досліджуваних схем випрямлення й чи можна його визначити дослідним шляхом, використовуючи лабораторну установку?
- 6.8. У який спосіб визначається коефіцієнт використання за потужністю первинної, вторинної обмотки, а також

усього трансформатора в кожній зі схем випрямлення за навантаження індуктивного характеру?

- 6.9. За яких параметрів обираються діоди для багатофазних схем випрямлення?
- 6.10. Наведіть порівняльну оцінку щодо основних параметрів і показників якості, досліджуваних схем випрямлення.
- 6.11. Покажіть, як протікає постійна складова струму навантаження для кожної з наведених на рис. 3.2 та 3.3 схем.
- 6.12. Які недоліки й переваги має кожна з досліджуваних схем?
- 6.13. Що таке кут перекриття фаз?
- 6.14. Від яких параметрів залежить кут перекриття фаз?
- 6.15. В який спосіб слід визначати величину зворотної напруги на діодах випрямляча?
- 6.16. Що таке зовнішня характеристика випрямляча?

Лабораторна робота № 4

“Дослідження одноктних керованих і некерованих випрямлячів”

1. Мета роботи

Дослідження принципів побудови й функціонування керованих і некерованих випрямних пристроїв та особливостей їхньої схмотехнічної реалізації.

Вивчення принципів побудови й функціонування керованих і некерованих одноктних однофазних та трифазних випрямних пристроїв. Експериментальне дослідження їхніх основних характеристик та електромагнітних процесів.

Освоєння методики експериментального визначання основних характеристик керованих випрямлячів.

2. Лабораторне завдання. Зміст роботи

2.1. Вивчити за рекомендованою літературою теоретичний матеріал. Вивчити особливості схмотехнічної реалізації схеми керованих та некерованих випрямлячів, процеси функціонування, області застосування. Ознайомитися із принциповими схемами макета й особливостями їхнього функціонування.

2.2. Дослідити керовані випрямлячі – однофазний одноктний за активного ($k = 1$) та індуктивного ($k = 2$ – з додатковим діодом $VD2$ і без нього) характеру навантаження та трифазний одноктний за активного ($k = 3$) та індуктивного ($k = 4$ – з додатковим діодом $VD1$ і без нього) характеру навантаження:

2.2.1. Дослідити зовнішні (навантажувальні) характеристики випрямлячів.

2.2.2. Визначити вихідні опори керованих випрямлячів.

2.2.3. Визначити відсоткові зниження вихідних напруг керованих випрямлячів.

2.2.4. Визначити коефіцієнти використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора $TV1$ керованих випрямлячів.

2.2.5. Дослідити регульовальні характеристики випрямлячів.

2.2.6. Дослідити процеси функціонування керованих випрямлячів за активного й індуктивного характеру навантаження:

- пульсації у вихідному колі блока випрямлення **BB** й у колі навантаження випрямляча;
- електричні процеси (струми й напруги) в елементах і колах керованого випрямляча.

2.3. Дослідити некеровані випрямлячі (керовані випрямлячі за $\alpha = 0$) – однофазний одноктний: за активного ($k = 1$) та індуктивного ($k = 2$ – з додатковим діодом **VDI** і без нього) характері навантаження й трифазний одноктний за активного ($k = 3$) та індуктивного ($k = 4$ – з додатковим діодом **VDI** і без нього) характері навантаження:

2.3.1. Дослідити зовнішні (навантажувальні) характеристики некерованих випрямлячів.

2.3.2. Визначити вихідні опори некерованих випрямлячів.

2.3.3. Визначити відсоткові зниження вихідних напруг некерованих випрямлячів.

2.3.4. Визначити коефіцієнти використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора **TVI** некерованих випрямлячів.

2.3.5. Дослідити процеси функціонування некерованих випрямлячів за активного й індуктивного характеру навантаження:

- пульсації у вихідному колі блока випрямлення **BB** і в колі навантаження випрямляча;
- електричні процеси (струми й напруги) в елементах і колах випрямляча.

2.4. Опрацювати дослідні дані. Сформулювати висновки за результатами лабораторної роботи.

3 Опис лабораторного макета

Лабораторний макет (рис. 3.1) призначено для дослідження керованих однофазних та трифазних тиристорних випрямлячів – однофазного одноктного за активного ($k = 1$) та індуктивного ($k = 2$) (з додатковим діодом **VDI** і без нього) характеру навантаження й трифазного одноктного за активного ($k = 3$) та індуктивного

($k = 4$) (з додатковим діодом *VDI* і без нього) характеру навантаження.

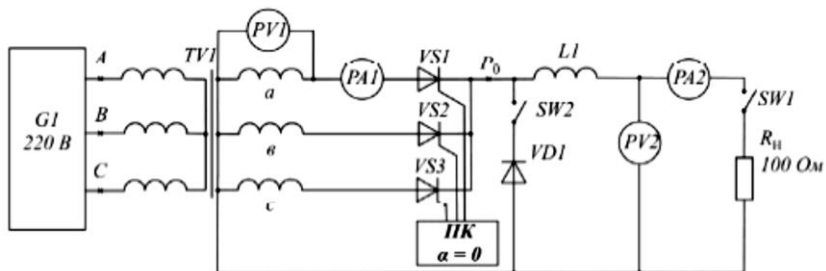


Рис. 3.1 – Лабораторний макет. Параметри фаз А,В,С, а,в,с. $G1=220$ В. $PV1= 21,98$. $PA1=49,71$ мА. $PV2= 10,45$. $PA2= 66,98$ мА. Регулюється напруга $G1$ та опір навантаження R_H .

Короткий опис досліджуваних схем наведено в табл.

3.1.

Таблиця 3.1 – Опис досліджуваних схем			
	Позначення в макеті	Опис	№ рис.
	Однофазна (активне навантаження – $k = 1$)	Однофазний тиристорний випрямляч, що працює на активне навантаження	3.2, а
	Однофазна (індуктивне навантаження – $k = 2$)	Однофазний тиристорний випрямляч, що працює на індуктивне навантаження. Є можливість роботи із замикаючим діодом (<i>VDI</i>)	3.2, б
	Трифазна (активне навантаження – $k = 3$)	Трифазний тиристорний випрямляч, що працює тільки на активне навантаження	3.3, а
	Трифазна (індуктивне навантаження – $k = 4$)	Трифазний тиристорний випрямляч, що працює на індуктивне навантаження. Є можливість роботи із замикаючим діодом (<i>VDI</i>)	3.3, б

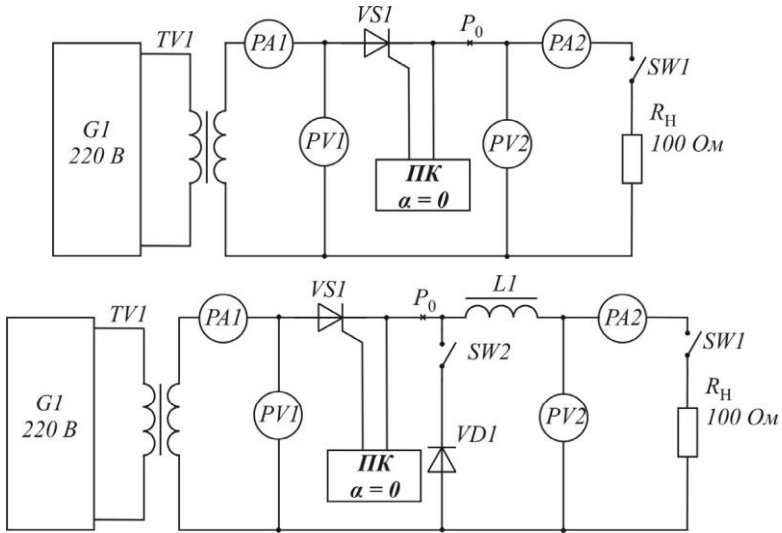


Рис. 3.2 – Однофазна схема з активним ($k = 1$) (а), індуктивним ($k = 2$) (б) навантаженням

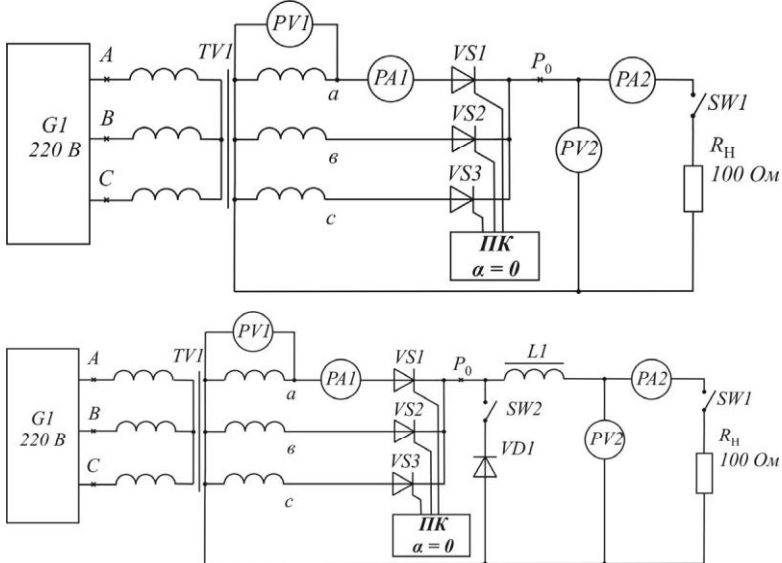


Рис. 3.3 – Трифазна схема з активним ($k = 3$) (а), індуктивним ($k = 4$) (б) навантаженням

Лабораторний макет містить:

- джерело **GI** трифазної синусоїдної напруги;
- трифазний трансформатор **TVI**;
- трифазний блок випрямлення **BB**, утворений тиристорами **VS1...VS3**;
- згладжувальний фільтр, утворений дроселем **LI**;
- додатковий діод **VDI**;
- опір навантаження **R_n**;
- чотириканальний осцилограф;
- вольтметр **PVI** напруги U_a вторинної обмотки трансформатора **TVI** фази **a**;
- амперметр **PAI** струму I_a вторинної обмотки трансформатора **TVI** фази **a**;
- вольтметр **PV2** напруги U_n у колі навантаження випрямляча;
- амперметр **PA2** струму I_n навантаження;
- пристрій керування **ПК** тиристорним випрямлячем.

Лабораторний схема складається із джерела первинного електроживлення **GI**, трансформатора **TVI**, що забезпечує узгодження напруги джерела первинного електроживлення з потрібною напругою навантаження, тиристорного випрямного блока **VS1...VS3** (або лише **VS1**, залежно від схеми), згладжувального фільтра **LI** (чи без нього, залежно від досліджуваної схеми), замикаючого діода **VDI** й опору навантаження **R_n**. Опір навантаження **R_n** і замикаючий діод **VDI** можуть вимикатися за допомогою вимикачів **SW1** та **SW2**.

Випрямний блок керується пристроєм керування **ПК**. Пристрій керування продукує імпульси, необхідні для відкриття тиристорів, з урахуванням специфіки роботи керованих випрямлячів. Список елементів макета подано у табл. 3.2. На панель оперативних регулювань виведено кут регулювання **a** пристроя керування **ПК** та опір резистора навантаження **R_n**.

Діючі значення напруги та струму вторинної обмотки фази **a** трансформатора **TVI** контролюються відповідно вольтметром **PVI** та амперметром **PAI**. Середні значення напруги $U_n = U_0$ та струму $I_n = I_0$ навантаження **R_n**

вимірюються відповідно вольтметром *PV2* та амперметром *PA2*.

До набору контрольно-вимірювальних приладів входить також чотириканальний осцилограф, який дозволяє спостерігати форму напруг і струмів у різних точках схеми. Синхронізація осцилографа відбувається автоматично відповідно до роботи генератора *G1*. Тому тривалість розгортки проградуйовано у частках періоду даного генератора і становить 0,1...100 періодів/екран. Список контрольних точок осцилографа наведено у табл. 3.3. Внутрішньої пам'яті осцилографа вистачає для зберігання останнього періоду моделювання.

Таблиця 3.2 - Склад лабораторного макета

Позиція	Тип елемента	Регульовані параметри				Примітка
		параметр	ін	макс	. вим.	
<i>G1</i>	Трифазний генератор	фазна напруга	198	242	В	Діюче значення,
		частота	50	400	Гц	
<i>TV1</i>	Трифазний трансформатор	коефіцієнт трансформації		5		
		опір обмотки	0,1	1,5	Ом	Активний опір
<i>VS1</i>	Тиристор					
<i>VS2</i>	Тиристор					Для схем $k = 3$ і 4
<i>VS3</i>	Тиристор					Для схем $k = 3$ і 4
<i>VD1</i>	Діод					Для схем $k = 3$ і 4
<i>L1</i>	Дросель	Індуктивність	,01	10	Гн	Для схем $k = 3$ і 4
<i>Rн</i>	Резистор	Опір		200	Ом	Оперативне регулювання
<i>SW1</i>	Вимикач	Стан	Вимк.	Вмк.		Вимикач навантаження
<i>SW2</i>	Вимикач	Стан	Вимк.	Вмк.		Вимикач блокувального діода. Тільки для схем $k = 3$ і 4
<i>PV1</i>	Вольтметр					Діюче значення
<i>PV2</i>	Вольтметр					Середнє значення
<i>PA1</i>	Амперметр					Діюче значення

<i>PA2</i>	Амперметр					Середнє значення
<i>P₀</i>	Контрольна точка					
<i>ПК</i>		кут регулювання (α)		180		Для однофазних схем
				150		Для трифазних схем
		вихід <i>a</i>	Вимк.	Вмк.		
		вихід <i>b</i>	Вимк.	Вмк.		
		вихід <i>c</i>	Вимк.	Вмк.		

Таблиця 3.3 – Досліджувані параметри

Позначення	Осцилограми електричних процесів
<i>ПК, Вихід a</i>	Напруга $u_{ka}(t)$ на виході пристрою керування фази <i>a</i>
<i>ПК, Вихід b</i>	Напруга $u_{kb}(t)$ на виході пристрою керування фази <i>b</i>
<i>ПК, Вихід c</i>	Напруга $u_{kc}(t)$ на виході пристрою керування фази <i>c</i>
<i>TVI, U_a</i>	Напруга $u_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>a</i>
<i>TVI, I_a</i>	Струм $i_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>a</i>
<i>TVI, U_b</i>	Напруга $u_b(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>b</i>
<i>TVI, I_b</i>	Струм $i_b(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>b</i>
<i>TVI, U_c</i>	Напруга $u_c(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>c</i>
<i>TVI, I_c</i>	Струм $i_c(t)$ вторинної обмотки трансформатора <i>TVI</i> фази <i>c</i>
<i>VSI, U_{ка}</i>	Напруга $u_{vSI}(t)$ поміж катодом та анодом тиристора <i>VSI</i>
<i>VSI, I_a</i>	Струм $i_{vSI}(t)$ анода тиристора <i>VSI</i>

$VS2, U_{ка}$	Напруга $u_{VS2}(t)$ поміж катодом та анодом тиристора $VS2$
$VS2, I_a$	Струм $i_{VS2}(t)$ анода тиристора $VS2$
$VS3, U_{ка}$	Напруга $u_{VS3}(t)$ поміж катодом та анодом тиристора $VS3$
$VS3, I_a$	Струм $i_{VS3}(t)$ анода тиристора $VS3$
$VD1, U$	Напруга $u_{VD1}(t)$ на діоді $VD1$
$VD1, I$	Струм $i_{VD1}(t)$ діода $VD1$
P_0, U	Напруга $u_0(t)$ на виході блока випрямлення ББ
P_0, I	Струм $i_0(t)$ на виході блока випрямлення ББ
$L1, U$	Напруга $u_1(t)$ на дроселі $L1$
$L1, I$	Струм $i_1(t)$ дроселя $L1$
R_H, U	Напруга $u_H(t)$ на навантаженні R_H
R_H, I	Струм $i_H(t)$ навантаження R_H

7 Методика виконання лабораторної роботи

7.1 Програма й порядок вивчення теоретичних питань.

Вивчити призначення, особливості структурної, функціональної, схемотехнічної побудови керованих та некерованих випрямних пристроїв і процеси їхнього функціонування за матеріалами даної лабораторної роботи й рекомендованою літературою. Вивчити особливості схемотехнічного виконання й функціонування лабораторного макета. Одержати у викладача контрольні запитання щодо досліджуваного матеріалу й підготувати відповіді на них. Уточнити у викладача форму та обсяг їхнього подання у звіті.

7.2 Дослідження керованих випрямлячів – однофазного одноктного за активного ($k = 1$) та індуктивного ($k = 2$) (з додатковим діодом $VD1$ і без нього) характеру навантаження і трифазного одноктного за активного ($k = 3$) та індуктивного ($k = 4$) (з додатковим діодом $VD1$ і без нього) характеру навантаження.

Забезпечення потрібної схеми (див. рис. 3.2 та 3.3) дослідження (однофазної та трифазної однокатних схем керованих випрямлячів з активним та індуктивним характером навантаження) здійснюється за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1).

Для забезпечення потрібних параметрів елементів схеми й режимів роботи досліджуваного випрямляча може бути використано кнопки швидкого доступу “G1”, “TV1”, “PK”, “L1”, “SW1”, “SW2”, “R_n” (див. рис. 3.1).

7.2.1 Дослідження зовнішніх (навантажувальних) характеристик керованих випрямлячів.

Зовнішня характеристика $U_n = f(I_n)$ – це залежність напруги на навантаженні від струму I_n навантаження. У даній роботі досліджуються зовнішні характеристики керованих однокатних випрямлячів – однофазного для активного ($k = 1$) й індуктивного ($k = 2$) (з додатковим діодом *VDI* і без нього) характеру навантаження та трифазного для активного ($k = 3$) та індуктивного ($k = 4$ – з додатковим діодом *VDI* і без нього) характеру навантаження.

Таблиця 7.1 (k) – Результати досліджень

№вим	Дослідні дані					Розрахункові дані					
	R_n, OM	I_n, A	U_n, B	U_n, B	I_n, A	$\Delta U_n, \text{B}$	$\Delta I_n, \text{A}$	r_n, OM	S_2, BA	P_n, BT	K_2

Поступово збільшуючи струм I_n навантаження шляхом змінювання – регулювання опору R_n від режиму ненавантаженого стану за $I_n = 0$ до максимального значення, зафіксувати у всьому діапазоні змінювання струму навантаження 5...7 його значень, що рівномірно розбивають

діапазон вимірювань. Виміряти при цьому значення I_n , R_n , I_a , U_a , U_n . Задані значення занести до табл. 7.1 (k), де k – варіант схеми випрямляча.

Методика визначання зовнішньої характеристики є така:

- за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) обрати варіант схеми випрямляча – “Однофазна з R -навантаженням” ($k = 1$), “Однофазна з L -навантаженням” ($k = 2$), “Трифазна з R -навантаженням” ($k = 3$), “Трифазна з L -навантаженням” ($k = 4$);

- відредагувати параметри джерела GI (фазна напруга $U_A = U_B = U_C = U_{GI \text{ ном}}$, робоча частота $f_m = f_{m \text{ ном}}$);

- відредагувати параметри трансформатора TVI : установити потрібний коефіцієнт трансформації $n_{12} = n_{12 \text{ ном}}$ та активний опір $r_2 = r_{2 \text{ ном}}$ вторинних обмоток трансформатора TVI ($r_a = r_b = r_c = r_{2 \text{ ном}}$);

- відредагувати параметри дроселя LI : установити номінальне значення індуктивності дроселя $LI = LI_{\text{ном}}$;

- відредагувати параметри пристрою керування PK : установити номінальне значення кута α регулювання ($\alpha = \alpha_{\text{ном}}$); переконатися, що долучено вихідні сигнали фази a (для однофазних схем) і фаз a, b, c (для трифазних схем);

- вимкнути навантаження, перевівши вимикач SWI до розімкненого непровідного стану;

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;

- зняти показання вольтметрів PVI , $PV2$ відповідно напруги $U_2 = U_a$ вторинні обмотки трансформатора TVI фази a й U_{nc} – напруги ненавантаженого стану на виході випрямляча. Результат занести до табл. 7.1 (k);

- підімкнути опір R_n навантаження, перевівши вимикач SWI до замкненого провідного стану;

- змінюючи опір R_n навантаження (використовуючи повзунка “ R_n ” – див. рис. 3.1) від мінімуму (максимуму) до максимуму (мінімуму) (наприклад, $R_n = 1, 2, 5, 10, 25, 50$ та 100 Ом), зняти показання: вольтметрів PVI , $PV2$ – відповідно напруга U_a фази a трансформатора TVI , U_n – напруга в колі навантаження випрямляча; амперметрів $PA1$, $PA2$ –

відповідно струм $I_2 = I_a$, споживаний від фази a , і струм I_n у колі навантаження випрямляча. Результат занести до табл. 7.1 (k);

- за результатами дослідження побудувати зовнішні характеристики.

Для індуктивного характеру навантаження випрямляча ($k = 2$) виконати дослідження для двох варіантів: для однофазного одноктного з додатковим діодом $VD1$ (при цьому вимикач $SW2$ слід перевести до замкненого провідного стану) і без діода $VD1$ ($SW2$ переводиться до розімкненого стану) і для трифазного одноктного випрямляча ($k = 4$ з додатковим діодом $VD4$ і без нього).

7.2.2 Визначення вихідних опорів керованих випрямлячів

Вихідний опір випрямляча визначається на підставі здобутих результатів вимірювань п. 7.2. 1 (див. табл. 7.1 (k)) за формулами

$$r_b = \Delta U_n / \Delta I_n, \quad (7.1)$$

де $\Delta U_n = U_{n \max} - U_n$; $\Delta I_n = I_{n \max} - I_n$; $U_{n \max}$, $I_{n \max}$ – максимальні значення відповідно напруги й струму навантаження див. табл. 7.1 (k).

7.2.3 Визначення відсоткових знижень вихідних напруг керованих випрямлячів.

Відсоткове зниження $\Delta U_{n\%}$ вихідної напруги випрямляча при переході від ненавантаженого стану з напругою $U_{n \text{нс}}$ до номінального навантаження з вихідною напругою $U_{n \text{ном}}$ визначається у вигляді

$$\Delta U_{n\%} = \frac{U_{n \text{нс}} - U_{n \text{ном}}}{U_{n \text{нс}}} \cdot 100\%, \quad (7.2)$$

7.2.4 Визначення коефіцієнтів використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора TVI керованих випрямлячів.

Коефіцієнт використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора TVI у схемі керованого випрямляча визначається у вигляді

$$K_2 = P_n / S_2, \quad (7.3)$$

де $P_n = I_n U_n$; $S_2 = 3U_a I_a$; P_n – активна потужність у колі навантаження випрямляча; S_2 – габаритна потужність вторинних обмоток трансформатора *ТVI*.

7.2.5 Дослідження регулювальних характеристик.

Регулювальна характеристика – це залежність вихідної напруги U_n від кута α регулювання:

$$U_n / U_{n \max} = \phi(\alpha), \quad (7.4)$$

де $U_{n \max}$ – напруга в колі навантаження за $\alpha = 0$.

При знятті характеристик номінальний струм $I_{n \text{ ном}}$ навантаження за $\alpha = 0$ задає викладач. Для зняття регулювальних характеристик слід виконати таке:

- за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) обрати потрібну схему (за індуктивного характеру навантаження регулювальні характеристики знімаються для двох варіантів – з додатковим діодом *VDI* і без нього);

- підімкнути навантаження R_n , перевівши вимикач *SWI* до замкненого провідного стану;

- установити кут α регулювання рівним 0 (крайнє ліве положення повзунка пристрою керування *ПК*);

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт”;

- змінюючи опір R_n навантаження, встановити номінальне значення струму I_n навантаження ($I_n = I_{n \text{ ном}}$);

- змінюючи кут регулювання, наприклад із кроком 20° , зняти регулювальну характеристику. Результат занести до табл. 7.2 (*k*);

- в одній системі координат накреслити регулювальні характеристики для активного й індуктивного характеру навантаження;

- визначити максимальний кут α_{\max} регулювання для кожного виду навантаження;

- розрахувати й заповнити розрахункову частину таблиці 7.2 (*k*) $U_n / U_{n \max}$, використовуючи експериментальні дані табл. 7.2 (*k*) і $U0, U0 / U0 \max$: для однофазної схеми ($k = 1$)

$$U_0 = \frac{U_{2m}}{2\pi} (1 + \cos \alpha);$$

$$U_{0\max} = U_{2m} / \pi;$$

$$\frac{U_0}{U_{0\max}} = \frac{I_0}{I_{0\max}} = \frac{1 + \cos \alpha}{2};$$

для трифазної ($k = 3$)

$$U_0 = \begin{cases} U_{0\max} \cos \alpha & \text{за } \alpha \leq \frac{\pi}{6}; \\ \frac{U_{0\max}}{\sqrt{3}} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] & \text{за } \alpha \geq \frac{\pi}{6}; \end{cases}$$

$$U_{0\max} = 1,17U_2;$$

$$\frac{U_0}{U_{0\max}} = \frac{I_0}{I_{0\max}} = \begin{cases} \cos \alpha & \text{за } \alpha \leq 30^\circ; \\ 1 + \cos(30^\circ + \alpha) & \text{за } \alpha \geq 30^\circ. \end{cases}$$

Таблиця 7.2 (k) – Результати досліджень

α , град	20	40	60	80	100	120	140
Експериментальна частина							
U_n							
Розрахункова частина							
$U_n / U_{n\max}$							
U_0							
$U_0 / U_{0\max}$							

7.2.6 Дослідження процесів функціонування керованих випрямлячів.

Для дослідження процесів функціонування керованих схем випрямлення слід обрати (див. рис. 3.1) потрібну схему (однофазну, трифазну з активним чи індуктивним характером навантаження).

*Дослідження пульсацій у вихідних колах блока випрямлення **БВ** та навантаження керованого випрямляча*

Для вимірювання параметрів змінних складових на виході блока випрямлення **БВ** частоти $f_{ви}$ і розмаху $\Delta U_{в\sim}$ напруги $u_0(t)$ і розмаху $\Delta I_{в\sim}$ струму $i_0(t)$ слід підімкнути осцилограф до контрольних точок: у першому випадку до "**P₀, U**" – напруга $u_0(t)$ на виході блока випрямлення **БВ** (див. табл. 3.3), а в другому – до "**P₀, I**" (струм $i_0(t)$ на виході блока випрямлення **БВ** – див. табл. 3.3).

Для вимірювання параметрів змінних складових у колі навантаження випрямляча частоти $f_{ни}$ і розмаху $\Delta U_{н\sim}$ напруги $u_n(t)$ і розмаху $\Delta I_{н\sim}$ струму $i_n(t)$ слід підімкнути осцилограф до контрольних точок: у першому випадку – до "**R_н, U**" – напруга $u_n(t)$ навантаження **R_н** випрямляча (див. табл. 3.3), а в другому – "**R_н, I**" – струм $i_n(t)$ у колі навантаження **R_н** випрямляча.

Експериментальні значення частот $f_{ви}$ та $f_{ни}$ досліджуваних процесів визначаються за осцилограмами відповідно $u_0(t)$ та $u_n(t)$. Для цього слід виміряти за маскою осцилографа тривалість періоду T спостережуваної кривої, використовуючи значення величини n множника "**Час/Поділлка**" однойменного перемикача осцилографа. Вимірюваний інтервал T визначається добутком двох величин $T = nl$: довжини l вимірюваного/інтервалу часу на екрані за горизонталлю у поділках і значення величини n часу на поділку у даному положенні перемикача "**Час/Поділлка**". У цьому разі $f = 1/T = 1/(ln)$.

При вимірюванні параметрів змінних складових ($f_{ви}$, $\Delta U_{в\sim}$, $\Delta I_{в\sim}$, $f_{ни}$, $\Delta U_{н\sim}$, $\Delta I_{н\sim}$) осцилограф використовується в режимі закритого входу (вимикач постійної складової ПС вимкнено – рис. В.13) підсилювача вертикального посилення.

Методика дослідження фільтрувальних властивостей згладжувальних фільтрів припускає виконання таких кроків (результати вимірювань занести до табл. 7.3 (k)):

- за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1) обрати варіант схеми випрямляча – “Однофазна з R -навантаженням” ($k = 1$), “Однофазна з L -навантаженням” ($k = 2$), “Трифазна з R -навантаженням” ($k = 3$), “Трифазна з L -навантаженням” ($k = 4$);

- відрегувати параметри джерела GI (фазна напруга $U_A = U_B = U_C = U_{GI\text{ ном}}$, робоча частота $f_m = f_{m\text{ ном}}$);

- відрегувати параметри трансформатора TVI : установити потрібний коефіцієнт трансформації $n_{12} = n_{12\text{ ном}}$ й активний опір $r_2 = r_{2\text{ ном}}$ вторинних обмоток трансформатора TVI фази a (r_a), фази b (r_b), фази c (r_c) ($r_a = r_b = r_c = r_{2\text{ ном}}$);

- відрегувати параметри дроселя LI : установити номінальне значення індуктивності дроселя $LI = LI_{\text{ ном}}$;

- відрегувати параметри схеми пристроя керування PK : установити номінальне значення кута регулювання ($\alpha = \alpha_{\text{ ном}}$); для однофазних схем переконатися, що долучено вихідні сигнали керування фази α (для однофазних схем) і фаз a, b, c (для трифазних схем);

- розпочати моделювання, натиснувши кнопку “Старт” (рис. 3.1);

- установити опір $R_n = R_{\text{ ном}}$ у колі навантаження випрямляча, використовуючи повзунка “ R_n ” (див. рис. 3.1), що забезпечує значення струму $I_n = I_{n\text{ ном}}$;

- зняти показання вольтметра $PV2$ й амперметра $PA2$. Результати вимірювань U_n та $I_{n\text{ ном}}$ занести до табл. 7.3 (k);

- виміряти розмах $\Delta U_{v\sim}$ і частоту $f_{ви}$ пульсації напруги на виході блока випрямлення BB за осцилограмою напруги $u_0(t)$ (контрольна точка P_0 , U відповідно до табл. 3.3);

- виміряти розмах $\Delta I_{v\sim}$ пульсації струму на виході блока випрямлення BB за осцилограмою $i_0(t)$ (P_0, I);

- виміряти розмах $\Delta U_{n\sim}$ і частоту $f_{ни}$ пульсації напруги в колі навантаження випрямляча за осцилограмою напруги $u_n(t)$ (контрольна точка R_n , U відповідно до табл. 3.3);

- виміряти розмах $\Delta I_{н\sim}$ пульсації струму в колі навантаження випрямляча за осцилограмою $i_{н}(t)$ ($R_{н}, I$ – табл. 3.3);

- виконати аналогічні вимірювання за струмів $I_{н}$ навантаження, $0,75I_{н\text{ ном}}$, $0,5I_{н\text{ ном}}$ й $0,25I_{н\text{ ном}}$, використовуючи повзунка “ $R_{н}$ ” – див. рис. 3.5 (результати досліджень занести до табл. 7.3 (k));

- виконати (тільки для трифазних схем $k = 3$ й $k = 4$) аналогічні вимірювання за $I_{н\text{ ном}}$ за відсутності одного з сигналів керування $u_{к}(\omega t)$ на виході пристрою керування ПК;

- дослідження з даної методики виконати для чотирьох варіантів k схем випрямлячів ($k = 1, 2, 3, 4$);

- для варіантів $k = 2$ та $k = 4$ виконати аналогічні вимірювання за різних значень індуктивності дроселя LI з додатковим діодом VDI і без нього – результати досліджень занести до табл. 7.4 (k).

Використовуючи результати експерименту (табл. 7.3 (k), 7.4 (k)), розрахувати й заповнити розрахункову частину таблиць 7.3 (k), 7.4 (k) з урахуванням наведених далі співвідношень.

Результати експерименту дозволяють визначити нормовані частоти

$$\bar{f}_{вн} = f_{вн} / f_{м}; \quad \bar{f}_{пн} = f_{пн} / f_{м}.$$

Коефіцієнти пульсацій на виході блока випрямлення $БВ$ (струму $K_{пв}$ і напруги $K_{пвU}$) у колі навантаження (струму $K_{пн}$ і напруги $K_{пнU}$) випрямляча:

$$K_{пв} = \frac{\Delta I_{в\sim}}{2I_{н}}; \quad K_{пн} = \frac{\Delta I_{н\sim}}{2I_{н}};$$

$$K_{пвU} = \frac{\Delta U_{в\sim}}{2U_{н}}; \quad K_{пнU} = \frac{\Delta U_{н\sim}}{2U_{н}}.$$

Коефіцієнти згладжування за струмом S_i та напругою S_U визначаються з урахуванням коефіцієнтів пульсації:

$$S_i = K_{\text{нв}} / K_{\text{нн}} ; \quad S_U = K_{\text{нвU}} / K_{\text{ннU}} .$$

Результати розрахунків $\bar{f}_{\text{нн}}, \bar{f}_{\text{нн}}, K_{\text{нв}}, K_{\text{нн}}, K_{\text{нвU}}, K_{\text{ннU}}, S_i, S_U$ відбити в розрахунковій частині таблиць 7.3 (к) та 7.4 (к).

За результатами досліджень побудувати робочі характеристики $K_{\text{нв}}$,

$$K_{\text{нн}}, K_{\text{нвU}}, K_{\text{ннU}}, S_i, S_U = f(I_{\text{н}}, C1, LI).$$

Дослідження електричних процесів керованого випрямляча

За допомогою осцилографа макета спостерігати осцилограми напруг та струмів відповідно до прийнятих позначень (див. табл. 3.3):

- напруга $u_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора *TV1* фази *a*;
- струм $i_a(t)$ вторинної обмотки трансформатора *TV1* фази *a*;
- напруга $u_0(t)$ і струм $i_0(t)$ на виході блока випрямлення *БВ* (контрольна точка P_0);
- напруга $u_{\text{н}}(t)$ на опорі $R_{\text{н}}$ навантаження;
- напруга $u_{\text{ка}}(t)$ на виході пристрою керування *ПК* фази *a* й т.д. (відповідно до табл. 3.3).

Таблиця 7.3 (к) – Результати досліджень

№ вимі	Експериментальна частина									Розрахункові дані						
	$I_{\text{н}}, \text{A}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$	$f_{\text{нн}}, \text{Гц}$	$\Delta U_{\text{в}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{в}}, \text{A}$	$f_{\text{нн}}, \text{Гц}$	$\Delta U_{\text{н}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{н}}, \text{A}$	$v_{\text{и}}$	$n_{\text{и}}$	$K_{\text{нв}}$	$K_{\text{нвU}}$	$K_{\text{нн}}$	$K_{\text{ннU}}$	S_i	S_U

Таблиця 7.4 (к) – Результати досліджень

№ вим	Експериментальна частина										Розрахункові дані						
	$I_L, \text{мГн}$	$I_{н}, \text{А}$	$U_{н}, \text{В}$	$f_{ви}, \text{Гц}$	$\Delta U_{в.с.}, \text{В}$	$\Delta U_{в.с.}, \text{А}$	$f_{ни}, \text{Гц}$	$\Delta U_{н.с.}, \text{В}$	$\Delta U_{н.с.}, \text{А}$	ви	ни	$K_{пв}$	$K_{пв/и}$	$K_{пн}$	$K_{пн/и}$	S_i	S_u

Діаграми слід зобразити в одному масштабі по горизонталі.

7.3 Дослідження некерованих випрямлячів (керованих випрямлячів за $\alpha = 0$) – однофазного за активного ($k = 1$) та індуктивного ($k = 2$) (з додатковим діодом **VDI** і без нього) характеру навантаження й трифазного за активного ($k = 3$) та індуктивного ($k = 4$) (з додатковим діодом **VDI** і без нього) характеру навантаження.

Забезпечення потрібної схеми дослідження, варіанта k ($k = 1, 2, 3, 4$) випрямляча здійснюється за допомогою перемикача вибору схеми дослідження (див. рис. 3.1).

Для забезпечення потрібних параметрів елементів схеми та режимів роботи досліджуваного випрямляча може бути використано кнопки швидкого доступу “**GI**”, “**TVI**”, “**PK**”, “**LI**”, “**SW1**”, “**SW2**”, “**R_n**” (див. рис. 3.1).

Електричні процеси в елементах та колах одноктних схем некерованих і керованих при $\alpha = 0$ випрямлячів є ідентичні. Тому для дослідження некерованих випрямлячів – і однофазного одноктного, і трифазного одноктного в досліджуваних схемах ($k = 1, 2, 3, 4$) – слід встановити кут регулювання $\alpha = 0$. Для цього можна використати повзунка “**PK**”: підвести курсор миші до повзунка, натиснути ліву кнопку й, не відпускаючи її, пересунути в крайнє ліве положення.

7.3.1 Дослідження зовнішніх (навантажувальних) характеристик некерованих випрямлячів.

Дослідження зовнішніх характеристик некерованих випрямлячів провадиться відповідно до п. 7.2.1 за таких самих параметрах елементів схеми, за яких досліджувалися й однойменні керовані випрямлячі.

7.3.2 Визначення вихідних опорів некерованих випрямлячів.

Вихідні опори некерованих випрямлячів визначаються на підставі здобутих результатів таблиці 7.1 (**k**) за співвідношеннями (7.1).

7.3.3 Визначення відсоткових знижень вихідних напруг випрямлячів.

Відсоткове зниження $\Delta U_{н\%}$ вихідної напруги випрямляча при переході від ненавантаженого стану з напругою $U_{н\text{нс}}$ до номінального навантаження з вихідною напругою $U_{н\text{ном}}$ визначається відповідно до співвідношення (7.2).

*7.3.4 Визначення коефіцієнтів використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора **TVI** некерованих випрямлячів.*

Коефіцієнт використання за потужністю вторинних обмоток трансформатора **TVI** у схемі досліджуваного некерованого випрямляча визначається відповідно до співвідношення (7.3).

7.3.5 Дослідження процесів функціонування некерованих випрямлячів.

Дослідження процесів функціонування некерованих випрямлячів провадиться відповідно до пункту 7.2.6 за таких самих параметрів елементів схеми, за яких досліджувалися однойменні схеми керованих випрямлячів.

7.4 Висновки за результатами досліджень схем випрямлення.

Користуючись даними дослідів пп. 6.2 й 6.3, розрахувати, побудувати й виконати аналіз:

- регульовальних характеристик досліджуваних схем керованих випрямлячів;

- зовнішніх характеристик досліджуваних схем керованих і некерованих випрямлячів;

За здобутими результатами дослідження керованих і некерованих схем випрямлення слід сформулювати висновки. У цих висновках слід відбити особливості процесів функціонування кожної схеми, результати аналізу схем випрямлення за основними показниками, здобуваними експериментально.

8 Зміст звіту

Звіт має містити:

8.1 принципи електричні, функціональні, структурні схеми однофазних та трифазних керованих і некерованих випрямлячів;

8.2 результати досліджень відповідно до пп. 6.1...6.4:

- таблиці з результатами вимірювань та розрахунків;
- осцилограми струмів і напруг в елементах та колах схеми керованого випрямляча за навантаження активного та індуктивного характеру;
- графіки зовнішніх та регулювальних характеристик

$$\begin{aligned}
 & U_{\text{в}}, r_{\text{в}}, S_2, K_2 = f(I_{\text{в}}); \\
 & U_{\text{в}}, U_{\text{в}}/U_{\text{вmax}}, U_{\theta}/U_{\theta\text{max}} = f(\alpha); \\
 & \bar{f}_{\text{вв}}, \bar{f}_{\text{вн}}, K_{\text{пв}}, K_{\text{пв}U}, K_{\text{в}}, K_{\text{в}U}, S_i, S_U = f(I_{\text{в}}, LI);
 \end{aligned}$$

5.4. Висновки й порівняльну оцінку здобутих результатів.

5 Контрольні запитання

5.1 Принципи функціонування й основні характеристики некерованого вентиля – діода й керованого вентиля – тиристора.

5.2 Який є принцип регулювання вихідної напруги тиристорного випрямляча?

5.3 Що таке кут регулювання? Дайте пояснення сімейству регулювальних характеристик керованого тиристорного випрямляча.

5.4 У який спосіб впливає характер навантаження схеми випрямляча на величину й форму вихідної напруги керованого й некерованого випрямлячів.

5.5 Дайте пояснення сімейству зовнішніх характеристик керованого й некерованого випрямлячів.

5.6 У чому полягають достоїнства й недоліки некерованих і керованих тиристорних випрямлячів?

5.7 У чому полягають відмінності електричних процесів в елементах і колах схем регульованого випрямляча за активного навантаження й навантаження з індуктивною реакцією для різних значень кута регулювання?

5.8 Чому дорівнює максимальний кут регулювання α_{\max} за активного навантаження й навантаження з індуктивною реакцією в керованому тиристорному випрямлячі?

5.9 За якого характеру навантаження α_{\max} є більше й чому має місце це збільшення?

5.10 Як залежить коефіцієнт пульсації від величини кута регулювання α й чому ця залежність має місце?

5.11 Поясніть призначення додаткового діода в схемах випрямлячів (див. рис. 3.1).

5.12 У якій спосіб змінюється коефіцієнт потужності $\cos\phi$ за збільшення кута регулювання α ?

5.13 Зобразіть функціональну схему керованого випрямляча, поясніть призначення елементів схеми.

5.14 У яких межах має змінюватися кут регулювання задля забезпечення 100 % регулювання напруги в колі навантаження в досліджуваних схемах керованих випрямлячів?

ЛІТЕРАТУРА

1. Кадацький А. Ф. Імпульсні перетворювачі постійного струму: Частина 1. Принципи побудови та функціонування. – Одеса: УДАЗ ім. О.С. Попова. Навч. посібник. 2001.
2. Кадацький А.Ф., Андреев А.І., Є.П. Бишляга Е.П. Розрахунок перетворювачів напруги з імпульсним регулюванням: Методичний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2002.
3. Кадацький А.Ф., Саксонов О. В. Випрямний пристрій систем електроживлення засобів телекомунікації: Навч. посібник для самост. роботи студ., практич. занять та дипломн. проектування. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004.
4. Кадацький А. Ф., Саксонов О. В. Імпульсні перетворювачі постійної напруги. Ч. 2. Розрахунок моткових елементів імпульсних перетворювачів постійної напруги: Навчальний посібник. ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2005. – 162 с.
5. Андреев А.І., Ладигін Л.Є, Бишляга Є.П., Гуцель Е.І. Електроживлення систем зв'язку. Методичний посібник до лабораторних робіт № 1...11. – Одеса, 1999. – 51 с.
6. Андреев А.І. Джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем: Навч. посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2008.
7. Андреев А.І., Бишляга Є.П. Розрахунок вихідного випрямляча в джерелах з безтрансформаторним входом.: Метод. посібник/ – Одеса. УДАЗ ім. О.С.Попова, 1999.
8. Основні положення по системах електроживлення вузлів електрозв'язку України/Міністерство зв'язку України. Київ, 1997. – 64 с.
9. Відомчі норми технологічного проектування. Електроустановки підприємств та споруд зв'язку України/ Міністерство зв'язку України. Київ, 1997. – 166 с.
10. Правила технічної експлуатації електроустановок підприємств електрозв'язку.

Навчальне видання
Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
з навчальної дисципліни

"Метрологія та стандартизація"
для студентів спеціальностей
«Телекомунікації і радіотехніка»,
«Метрологія, інформаційно-вимірвальна техніка»

Укладачі:
Стринадко Мирослав Танасійович
Фесів В'ячеслав Ігорович.

Відповідальний редактор Максимяк Петро Петрович