

Лабораторная работа №16

Программный RAID (mdadm)

Ришард Когенгар

22 января 2026

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Цель работы

Основная цель

Освоить создание и администрирование программных RAID-массивов в Linux с использованием утилиты `mdadm`.

Ход выполнения работы

Создание виртуальных носителей

- Открыт раздел **Носители** в настройках ВМ
- К контроллеру **SATA** добавлены 3 диска по 512 MiB
- Формат: **VDI**, тип: **динамический**

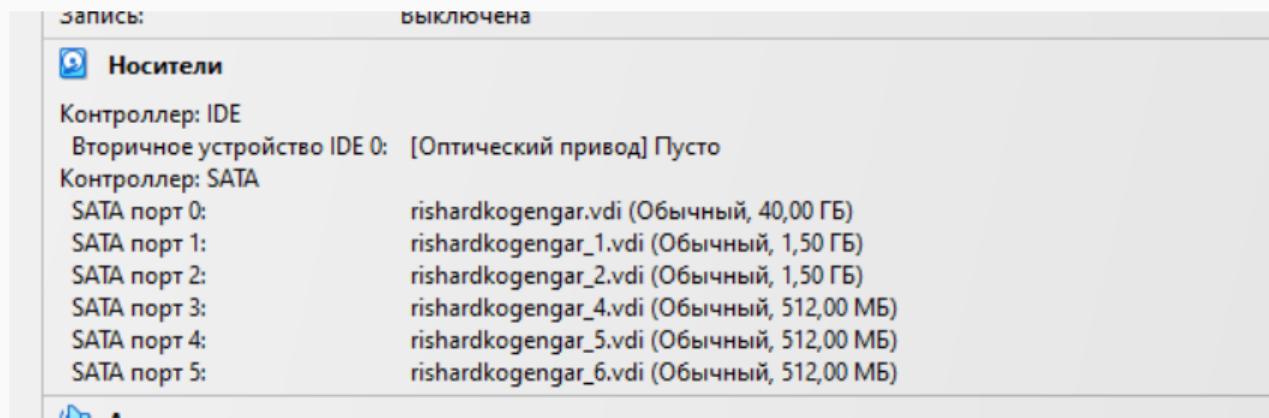


Рис. 1: Подключение дополнительных виртуальных дисков к контроллеру SATA

Проверка наличия дисков в системе

- Получены права администратора (root)
- Проверено появление устройств /dev/sdd, /dev/sde, /dev/sdf

```
rishard@rishardkogengar:~$ su
Password:
root@rishardkogengar:/home/rishard# fdisk -l | grep /dev/sd
Disk /dev/sda: 40 GiB, 42949672960 bytes, 83886080 sectors
/dev/sda1      2048      4095      2048  1M BIOS boot
/dev/sda2    4096  2101247  2097152   1G Linux extended boot
/dev/sda3  2101248 83884031 81782784  39G Linux LVM
Disk /dev/sdc: 1.5 GiB, 1610612736 bytes, 3145728 sectors
/dev/sdc1      2048  616447  614400  300M 8e Linux LVM
/dev/sdc2    616448 1230847  614400  300M 8e Linux LVM
Disk /dev/sdb: 1.5 GiB, 1610612736 bytes, 3145728 sectors
/dev/sdb1      2048 1230847 1228800  600M 8e Linux LVM
/dev/sdb2    1230848 2152447  921600  450M 8e Linux LVM
Disk /dev/sde: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk /dev/sdf: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
root@rishardkogengar:/home/rishard#
```

Создание разделов на дисках

- На каждом диске создан один раздел:
 - /dev/sdd1, /dev/sde1, /dev/sdf1
- Разметка выполнена утилитой **sfdisk**

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk /dev/sdd <<EOF
> ;
> EOF
Checking that no-one is using this disk right now ... OK

Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes

>>> Created a new DOS (MBR) disklabel with disk identifier 0x62df7945.
/dev/sdd1: Created a new partition 1 of type 'Linux' and of size 511 MiB.
/dev/sdd2: Done.

New situation:
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x62df7945
```

Проверка типа разделов и RAID-типы

- Тип новых разделов по умолчанию: 83 (Linux)
- Просмотр доступных RAID-типов партиций
- Подготовка к включению в RAID

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk --print-id /dev/sdd 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk --print-id /dev/sde 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk --print-id /dev/sdf 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk -T | grep -i raid
fd Linux raid autodetect
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk --change-id /dev/sdd 1 fd
sfdisk: change-id is deprecated in favour of --part-type
```

The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.

Установка типа Linux raid autodetect (fd)

- Тип разделов изменён на **fd**
- Цель: корректная идентификация разделов как RAID-совместимых

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk /dev/sdd -l
Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x62df7945

Device      Boot Start     End Sectors  Size Id Type
/dev/sdd1          2048 1048575 1046528 511M fd Linux raid autodetect
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk /dev/sde -l
Disk /dev/sde: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0xbea007fa

Device      Boot Start     End Sectors  Size Id Type
/dev/sde1          2048 1048575 1046528 511M fd Linux raid autodetect
root@rishardkogengar:/home/rishard# sfdisk /dev/sdf -l
Disk /dev/sdf: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes
```

Создание RAID 1 массива

- Создан массив RAID 1:
 - устройство массива: `/dev/md0`
 - диски: `/dev/sdd1` и `/dev/sde1`
- Выполнена первичная проверка состояния массива

```
root@rishardkogengar:/home/rishard#  
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1  
To optimalize recovery speed, it is recommended to enable write-invert bitmap, do you want to enable it now? [y/N]?  
mdadm: assuming no.  
mdadm: Note: this array has metadata at the start and  
      may not be suitable as a boot device. If you plan to  
      store '/boot' on this device please ensure that  
      your boot-loader understands md/v1.x metadata, or use  
      --metadata=0.90  
mdadm: size set to 522240K  
Continue creating array [y/N]? y  
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata  
mdadm: array /dev/md0 started.  
root@rishardkogengar:/home/rishard# cat /proc/mdstat  
Personalities : [raid1]  
md0 : active raid1 sde1[1] sdd1[0]  
      522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]  
  
unused devices: <none>  
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --query /dev/md0  
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 0 spares. Use mdadm --detail for more detail.  
root@rishardkogengar:/home/rishard#
```

Детальная проверка массива RAID 1

- Массив в состоянии **clean**
- Устройства:
 - `/dev/sdd1` — active sync
 - `/dev/sde1` — active sync

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 12:49:54 2026
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 2
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 12:49:57 2026
                  State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 2
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 0

Consistency Policy : resync
```

Файловая система и монтирование

- Создана файловая система ext4 на /dev/md0
- Монтируемование выполнено в каталог /mnt/raid

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mkfs.ext4 /dev/md0
mke2fs 1.47.1 (20-May-2024)
Creating filesystem with 522240 1k blocks and 130560 inodes
Filesystem UUID: 942924ff-1880-47e2-82fd-4039f2c4c3bf
Superblock backups stored on blocks:
          8193, 24577, 40961, 57345, 73729, 204801, 221185, 401409

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Creating journal (8192 blocks): done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done
```

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mkdir /data
mkdir: cannot create directory '/data': File exists
root@rishardkogengar:/home/rishard# ls /data
main  third
root@rishardkogengar:/home/rishard# mkdir /mnt/raid
root@rishardkogengar:/home/rishard# mount /dev/md0 /mnt/raid/
root@rishardkogengar:/home/rishard#
```

Автомонтирование через /etc/fstab

- Добавлена запись для автомонтирования:
 - устройство: `/dev/md0`
 - точка монтирования: `/mnt/raid`
 - тип: `ext4`, параметры: `defaults 1 2`

```
GNU nano 8.1                               /etc/fstab

#
# /etc/fstab
# Created by anaconda on Sun Jan 18 09:16:55 2026
#
# Accessible filesystems, by reference, are maintained under '/dev/disk/'.
# See man pages fstab(5), findfs(8), mount(8) and/or blkid(8) for more info.
#
# After editing this file, run 'systemctl daemon-reload' to update systemd
# units generated from this file.
#
UUID=c3d6cdd4-64c9-445b-aee8-e10718806479 /          xfs    defaults      0 0
UUID=bc507efe-3420-42b7-b3f1-f75ef78165a4 /boot       xfs    defaults      0 0
UUID=b47ce78d-fbd3-40c0-8d6a-b72f306126a2 none        swap   defaults      0 0
/dev/vgdata/lvdata /mnt/data ext4 defaults 1 2
/dev/vggroup/lvgroup /mnt/groups xfs defaults 1 2
/dev/md0 /mnt/raid ext4 defaults 1 2
#UUID=439d348e-7994-47d8-8f0d-687c9c37a242 /mnt/data xfs defaults 1 2
```

Имитация отказа и восстановление RAID 1

- Смоделирован отказ `/dev/sde1`
- Сбойный диск удалён из массива
- В массив добавлен третий диск `/dev/sdf1`
- Итог: массив восстановлен и работоспособен

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm /dev/md0 --remove /dev/sde1
mdadm: hot removed /dev/sde1 from /dev/md0
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm /dev/md0 --add /dev/sdf1
mdadm: added /dev/sdf1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 12:49:54 2026
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 2
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 12:53:36 2026
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 2
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 0
```

Остановка массива и очистка метаданных

- Массив размонтирован и остановлен
- Метаданные RAID очищены командой `--zero-superblock`

```
root@rishardkogengar:/home/rishard#
root@rishardkogengar:/home/rishard# umount /dev/md0
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --stop /dev/md0
mdadm: stopped /dev/md0
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
root@rishardkogengar:/home/rishard#
```

Рис. 11: Остановка массива и очистка RAID-метаданных

Создание RAID 1 + добавление hotspare

- Создан RAID 1: /dev/sdd1 + /dev/sde1 → /dev/md0
- Добавлен горячий резерв: /dev/sdf1 (spare)
- Проверка показывает наличие 2 devices + 1 spare

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimalize recovery speed, it is recommended to enable write-invert bitmap, do you want to enable it now? [y/N]?
mdadm: assuming no.
mdadm: Note: this array has metadata at the start and
      may not be suitable as a boot device. If you plan to
      store '/boot' on this device please ensure that
      your boot-loader understands md/v1.x metadata, or use
      --metadata=0.90
mdadm: size set to 522240K
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --add /dev/md0 /dev/sdf1
mdadm: added /dev/sdf1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mount /dev/md0
mount: (hint) your fstab has been modified, but systemd still uses
      the old version; use 'systemctl daemon-reload' to reload.
root@rishardkogengar:/home/rishard# cat /proc/mdstat
Personalities : [raid1]
md0 : active raid1 sdf1[2](S) sde1[1] sdd1[0]
      522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]

unused devices: <none>
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 1 spare. Use mdadm --detail for more detail.
root@rishardkogengar:/home/rishard#
```

Состояние массива с hotspare

- Активные устройства:
 - `/dev/sdd1` — active sync
 - `/dev/sde1` — active sync
- Резервное устройство:
 - `/dev/sdf1` — spare
- Состояние массива: **clean**

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 12:56:11 2026
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 12:56:39 2026
                  State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 1
```

Отказ диска и автоматическая замена hotspare

- Смоделирован отказ /dev/sde1
- Hotspare /dev/sdf1 автоматически перешёл в **active sync**
- Отказавший диск отображается как **faulty**
- Работоспособность массива сохранена

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 12:56:11 2026
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 12:58:19 2026
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 2
      Failed Devices : 1
      Spare Devices : 0

      Consistency Policy : resync
```

Состояние перед преобразованием

- RAID 1 создан на `/dev/sdd1` и `/dev/sde1`
- `/dev/sdf1` добавлен как spare
- Массив корректен и готов к преобразованию

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 13:00:46 2026
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 13:01:08 2026
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 1

Consistency Policy : resync

      Name : rishardkogengar.localdomain:0  (local to host rishardkogengar.localdomain)
      UUID : 2ddc6bfc:a422ea38:c55b91e5:bc463df9
```

Смена уровня массива на RAID 5

- Выполнено преобразование уровня:
 - `--grow --level=5`
- В выводе отображаются параметры RAID 5:
 - layout: **left-symmetric**
 - chunk size: **64K**

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --grow /dev/md0 --level=5
mdadm: level of /dev/md0 changed to raid5
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
          Version : 1.2
          Creation Time : Thu Jan 22 13:00:46 2026
          Raid Level : raid5
          Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
          Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
          Raid Devices : 2
          Total Devices : 3
          Persistence : Superblock is persistent

          Update Time : Thu Jan 22 13:02:16 2026
          State : clean
          Active Devices : 2
          Working Devices : 3
          Failed Devices : 0
          Spare Devices : 1

          Layout : left-symmetric
          Chunk Size : 64K
```

Увеличение числа дисков до 3

- Установлено количество устройств:
 - `--grow --raid-devices=3`
- Все три диска активны (**active sync**)
- Размер массива увеличен ($\approx 1020 \text{ MiB}$)
- Состояние массива: **clean**

```
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --grow /dev/md0 --raid-devices=3
root@rishardkogengar:/home/rishard# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Thu Jan 22 13:00:46 2026
      Raid Level : raid5
      Array Size : 1044480 (1020.00 MiB 1069.55 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 3
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Update Time : Thu Jan 22 13:03:09 2026
      State : clean
      Active Devices : 3
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 0

      Layout : left-symmetric
      
```

Итоги работы

Вывод

- Освоено создание и контроль RAID с помощью `mdadm`
- Создан и проверен **RAID 1** (включая отказ и восстановление)
- Реализован сценарий **hotspare** с автоматической заменой диска
- Выполнено преобразование **RAID 1 → RAID 5** и расширение массива
- Проведена корректная остановка массивов и очистка метаданных