

ПОШУК НЕСПРАВНОСТЕЙ В МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМАХ

Мета: ознайомитись з особливостями діагностики та методами пошуку несправностей у мікропроцесорних системах; розвинути аналітичне мислення, практичні навички та уміння діагностики та ремонту цифрових систем з використанням мікропроцесорних пристроїв.

1 Короткі теоретичні відомості

BIOS (Basic Input/Output System, базова система введення-виведення) - спеціальна програма, що зберігається в мікросхемі ПЗП. Відразу після включення живлення комп'ютера одержує керування саме BIOS. Вона виконує початкове тестування всіх компонентів комп'ютера. Якщо все в порядку, то керування передається програмі, що перебуває в Boot-секторі (завантажувальному секторі) завантажувального диска (це може бути дискета, жорсткий диск, компакт-диск). Та, у свою чергу, завантажує операційну систему.

Процедура початкового тестування називається POST - Power-On Self Test (самотестування після включення живлення).

BIOS зберігає в спеціальній мікросхемі CMOS-пам'яті апаратну конфігурацію комп'ютера. При включенні живлення поточна конфігурація порівнюється зі збереженою. Якщо контрольна сума не збігається з підрахованою, BIOS "вирішує", що він пошкоджений і запускається аварійна програма відновлення BIOS. На екран виводиться повідомлення типу "**BIOS checksum error**", система звертається до дисководу з метою завантажитися з нього й запустити програму перепрограмування. Якщо ж дисковод виключений/відсутній або в ньому немає системної дискети, то комп'ютер зупиняється.

Процедура самотестування (POST)

У випадку успішного завершення самотестування подається короткий одиночний звуковий сигнал. У деяких випадках після успішного завершення процесу POST може взагалі не подаватися ніяких сигналів.

Що відбудеться при виявленні помилок під час проведення самотестування? Якщо помилки не критичні -повідомлення про неї будуть виведені на екран, після чого завантаження комп'ютера може продовжитися. Якщо ж у процесі самотестування будуть виявлені серйозні помилки, комп'ютерна система спробує повідомити про їх користувачеві, однак вивести інформацію на екран буде неможливо. Отже, користувач не зможе побачити відповідне повідомлення.

У цьому випадку для визначення причини помилки користуються звуковими сигналами, які подаються через системний динамік комп'ютера після закінчення процедури POST. За допомогою цих сигналів система повідомляє користувача про результати процесу само тестування.

Деякі комбінації сигналів, що досить часто використовуються для позначення тих самих помилок:

- один короткий сигнал - тестування завершилося успішно, завантаження триває (деякі системи при цьому не подають ніяких звукових сигналів);
- звук відсутній, немає зображення на екрані - несправні процесор або блок живлення;
- один довгий безперервний сигнал - несправний блок живлення;
- два коротких сигнали - виявлені незначні помилки, необхідно внести зміни в настройках параметрів BIOS для систем компанії Award; помилка парності пам'яті для систем від AMI;
- три довгих сигнали - помилка контролера клавіатури;
- три коротких сигнали - помилка роботи нижньої пам'яті;
- один довгий і один короткий сигнал - невірно працює оперативна пам'ять;
- один довгий і два коротких сигнали - невірно працює відеоадаптер;
- один довгий і три коротких сигнали - помилка відеосистеми (не підключені монітор або не працює відеоадаптер) для AMI BIOS, помилка відеосистеми або проблеми з контролером клавіатури для Award BIOS;
- один довгий і вісім коротких сигналів - помилка відеосистеми: не підключений монітор, не працює відеоадаптер і т.д.;
- один довгий і дев'ять коротких сигналів - помилка зчитування даних BIOS;
- чотири коротких сигнали - не працює системний таймер;
- п'ять коротких сигналів - невірно працює процесор;
- шість коротких сигналів - несправний контролер клавіатури;
- сім коротких сигналів - проблеми з материнською платою;
- вісім коротких сигналів - невірно працює відеопам'ять;
- дев'ять коротких сигналів - помилка контрольної суми при перевірці вмісту BIOS; викликає скидання параметрів BIOS, після чого можна увійти в програму їхньої настройки й продовжити роботу;
- десять коротких сигналів - помилка запису даних у мікросхему CMOS;
- одинадцять коротких сигналів - невірно працює зовнішня кеш-пам'ять;
- довгі гудки, що повторюються - несправний або невірно підключений модуль оперативної пам'яті;
- короткі гудки, що повторюються - невірно працює блок живлення.

POST-плата

Як показує практика, у процесі самотестування комп'ютерної системи може виникнути й така помилка, що не вдається локалізувати за допомогою

звукових сигналів. Тут для аналізу ситуації на допомогу може прийти POST-плата.

POST-Плата — це спеціальна плата розширення для шини PCI, що має цифровий індикатор. На цьому індикаторі при виконанні POST плата виводить **коди самотестування**, за допомогою яких можна простежити за ходом процесу.

Спеціально для індикації результатів самотестування виділений спеціальний порт — 80Н. Перед тим як проініціалізувати той або інший пристрій, що є присутнім у системі, у цей порт обов'язково виводиться деякий код. По ньому можна точно визначити, що саме ініціалізується в цей момент.

Якщо ініціалізація пристрою завершилася успішно, то система перейде до ініціалізації наступного пристрою. При цьому в 80-й порт буде записаний наступний код.

Якщо робота системи була перервана, можна побачити код, що записаний в 80-й порт останнім. По цьому коду легко визначити, на якій операції відбувся збій, який пристрій не вдалося проініціалізувати. Наприклад, якщо на індикаторі останнім висвітилося значення 04, то це (при використанні системи з Award BIOS) буде означати, що в системі неправильно формуються сигнали регенерації оперативної пам'яті.

Значення кодів POST у різних виробників BIOS і материнських плат також можуть відрізнятися. Однак більшість із них все-таки має стійкі значення. У табл. 1 наведені коди процедури POST, які зустрічаються в системах на основі Award BIOS.

Таблиця 1 – POST-Коди

Код	Значення
01	Перевірка працездатності процесора
02	Перевірка регістрів процесора
03	Ініціалізація ресурсів ISA
04	Перевірка сигналів регенерації оперативної пам'яті
05	Ініціалізація контролера клавіатури
06	Тестування області пам'яті, у яких розміщається копія BIOS
07	Перевірка CMOS
08	Розширена перевірка перших 256 кілобайт оперативної пам'яті
09	Ідентифікація процесора Cytrix
0A	Ініціалізація контролера переривань
0B	Перевірка контрольної суми CMOS
0C	Ініціалізація блоку змінних BIOS
0D	Пошук відеоадаптера
0E	Ініціалізація відеоадаптера
0F	Тестування клавіатури
20	Ініціалізація пристроїв ISA
2F	Ініціалізація пристроїв ISA і пошук порожніх роз'ємів

30	Визначення обсягу базової пам'яті
31	Визначення обсягу розширеної пам'яті
3D	Ініціалізація PS/ 2-миші
41	Ініціалізація контролера дисководу для гнучких дисків
42	Визначення параметрів IDE-пристроїв і настроювання IDE- контролера
45	Ініціалізація математичного співпроцесора
4E	Настроювання USB-клавіатури
4F	Запит пароля
52	Пошуки ініціалізація додаткових BIOS
53	Установка лічильника часу DOS
60	Включення антивірусного захисту завантажувального сектора
62	Визначення режиму роботи цифрового блоку клавіатури й режиму автоповтору натискань на клавішу
63	Перевірка й корекція інформації про пристрої, що підтримують стандарт Plug-n-play
B0	Активізація процедури зупинки системи (при серйозних збоях)
BE	Ініціалізація набору мікросхем (Chipset) материнської штати
BF	Настроювання набору мікросхем (Chipset) материнської плати
C0	Відключення кеш-пам'яті й перевірка DMA-контролера й контролера переривань
C1	Визначення типу й обсягу пам'яті
C3	Перевірка перших 156 кілобайт оперативної пам'яті
C5	Перенос коду програми тестування в оперативну пам'ять
C6	Визначення обсягу й перевірка зовнішньої кеш-пам'яті
C8	Перевірка цілісності BIOS
CF	Визначення типу процесора
FF	Успішне завершення самотестування — передача керування завантажувальному сектору диска

Деякі виробники материнських плат, щоб полегшити процедуру діагностики несправностей, поміщають індикатори POST кодів безпосередньо на поверхню материнської плати. Іноді виробники йдуть ще далі, розташовуючи на материнській платі виводи індикатора кодів POST і поставляючи сам індикатор у комплекті. У цьому випадку він може бути виведений на будь-яке місце корпусу комп'ютера.

Тестування пам'яті

Пройшовши POST відбувається виявлення відеоадаптера. У цьому випадку відбувається його ініціалізація, після чого на екрані виникає зображення, що може містити відомості про встановлений у системі відеоадаптер, обсязі його пам'яті, а також деяких інших деталях (наприклад, може відображатися логотип виробника відеоадаптера).

Після ініціалізації відеоадаптера відбувається визначення типу процесора. Потім програма завантажування визначає тип і обсяг установленної в системі оперативної пам'яті. Після цього відбувається тестування пам'яті. Інформація про результати цих процесів також виводиться на екран.

Для діагностики ОЗП застосовують метод, пов'язаний з почерговим записом та зчитуванням кожного біту. При цьому контролюється вірність виконання потрібної зміни. Якщо якийсь біт не змінюється то видається повідомлення про помилку. Показується адреса несправного байта, що дозволяє виявити конкретну ІМС або банк ІМС.

Memory test fail – дане повідомлення буде виведено в тому випадку, якщо під час тестування пам'яті була виявлена помилка. Після цього повідомлення буде виведена додаткова інформація про виявлену помилку.

Відмову окремих елементів пам'яті можливо виявити з допомогою діагностичних процедур, а далі необхідно знайти відмовившу ІМС.

MemTest 3.3 - утиліта, призначена для тестування оперативної пам'яті. Для поверхневого тестування оперативної пам'яті досить запустити цю утиліту на 20 хвилин. Якщо за цей час помилок не виявиться (у заголовку вікна утиліти виводиться напис: 0 errors), то тест можна вважати пройденим. Якщо ж потрібно переконатися в повній і безвідмовній роботі оперативної пам'яті комп'ютера, то потрібно щоб утиліта MemTest попрацювала на комп'ютері протягом доби (у стабільній системі, помилок бути не повинно).

SMART

Після тесту пам'яті відбувається ініціалізація й перевірка пристроїв, підключених до контролерів IDE. Це можуть бути жорсткі диски, приводи компакт-дисків або DVD і інші накопичувачі.

S.M.A.R.T. (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology) - дослівно "технологія самодіагностики, аналізу й звіту". S.M.A.R.T. – це мікропрограма, що перебуває в контролері диска. Вона контролює багато параметрів роботи й стану вінчестера й допомагає визначити дійсний стан HDD: стан самого диска, час експлуатації вінчестера, проблеми, що існують й т.і. Для аналізу надійності жорсткого диска використовуються дві групи параметрів.

Перша характеризує параметри природного старіння жорсткого диска:

- кількість циклів вмикання/вимикання (старт/стоп)
- кількість обертів двигуна за час роботи
- кількість переміщень головок

Друга група параметрів уже інформує про поточний стан якості накопичувача. До цих параметрів відносяться:

- висота головки над поверхнею диска;
- швидкість обміну даними між дисками й кеш-пам'яттю на диску;
- кількість перепризначень поганих секторів (коли замість зіпсованого сектора підставляється вільний справний)

- кількість помилок пошуку;
- кількість операцій перекалібровки
- швидкість пошуку даних на диску

Таблиця 2 – Типові дефекти жорсткого диску й способи їх передбачення

Вид дефекту	Симптом/ Чим викликаний	Що передбачає
Велика кількість поганих секторів	Фізичні дефекти поверхні, ушкодження при транспортуванні	Кількість дефектів поверхні, швидкість їхнього росту
Надмірний шум	Дефект мотора, ушкодження при транспортуванні	Діагностика
Значна кількість нерегулярних помилок	Ушкодження головки або її забруднення	Часті повтори при звертанні до диску, спрацьовування схеми ЕСС контролю
Відмова мотора	Не виробляється сигнал готовності, немає шуму обертання дисків/ Дефект мотора, ушкодження при транспортуванні	Повтори вмикання, збільшення часу набору номінальної швидкості обертання
Диск не відповідає	Дефект електроніки диска	Ніщо не може передбачити катастрофу в цьому випадку
Помилки позиціонування серводвигуна	Велика кількість помилок переміщення головок/ ушкодження при транспортуванні	Помилки позиціонування, часті повтори калібрування
Збій роботи головки, резонанс при її переміщенні	Значна кількість нерегулярних помилок	Ріст помилок при читанні, а також помилок позиціонування

Всі ці параметри S.M.A.R.T. періодично тестує і записує. Для доступу до SMART інформації існує багато програм, які вміють це робити. Вони в досить зручній формі виводять поточні значення параметрів (Value) і їх граничні припустимі значення Threshold. Кожному параметру привласнюється значення Value від 100 і вище. Потім у міру погіршення параметра його значення зменшується. При падінні величини Value до значення Threshold вінчестер теоретично повинен вийти з ладу, але навіть у такій сумній ситуації HDD може успішно продовжувати працювати. У випадку падіння значення цього параметра нижче критичного значення найбільш ймовірний вихід вінчестера з ладу.

На деяких материнських платах у BIOS є програма, що зчитує інформацію з S.M.A.R.T. і може видати повідомлення:

SMART Failure Predicted on Primary Master
SMART Failure Predicted on Primary Slave
SMART Failure Predicted on Secondary Master
SMART Failure Predicted on Secondary Slave

Звуки, що видаються вінчестерами під час нормальної роботи або при певних несправностях дозволяють зробити попередню діагностику. Звуки, що видає повністю справний вінчестер:

- 1) розкручування вала (свист, що збільшується);
- 2) розпаковування блоку головок (клацання);
- 3) рекалібрування головок (рівномірне стрекотіння);

- 4) паркування головок після вимикання живлення (кляцання);
- 5) поступова зупинка вала (згасаючий свист)

Текстові помилки BIOS

При помилках BIOS виводить на екран різні повідомлення. Тому що ці повідомлення використовують англійську мову. Розглянемо типові повідомлення BIOS.

CMOS battery failed — сіла батарейка на материнській платі, що живить мікросхему CMOS - пам'яті. Для усунення проблеми необхідно замінити батарейку на нову.

CMOS checksum error - Defaults loaded — невірна контрольна сума вмісту CMOS-пам'яті, будуть використані настройки BIOS Setup, прийняті за замовчуванням. Дане повідомлення інформує про те, що дані в CMOS-пам'яті ушкоджені. Для усунення проблеми викликається BIOS Setup і перевіряють усі настройки. Якщо дане повідомлення буде виникати регулярно, необхідно замінити батарейку, що живить мікросхему CMOS-пам'яті.

BIOS ROM checksum error — ушкоджені дані в мікросхемі Flash-пам'яті, що містить BIOS. Для виправлення даної помилки потрібно перепрограмувати BIOS. У випадку, якщо це неможливо, потрібно замінити мікросхему Flash-пам'яті.

Floppy disk (s) fail — помилка контролера дисководу гнучких дисків. Якщо параметри дисководів в BIOS Setup зазначені вірно й контролер не відключений, проблема або з материнською платою, або з дисководом, або зі шлейфом.

Drive A error. System halt — помилка диска A, система зупинена. Дана проблема може бути викликана дисководом, що вийшов з ладу, несправним контролером дисководу, шлейфом.

Hard disk (s) Diagnostics fail — помилка контролера жорстких дисків або логіки керування самого жорсткого диска. Перевірте в BIOS Setup параметри жорстких дисків, проконтролюйте положення джамперів на IDE-пристроях (Master / Slave), зверніть увагу на параметри IDE-контролера материнської плати, що виставлені в BIOS Setup, перевірте шлейфи, а також самі жорсткі диски.

Primary master drive fail — помилка ініціалізації накопичувача, що підключений як основний до первинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати. Проконтролюйте в BIOS Setup параметри накопичувачів, переконайтеся, що самі накопичувачі справні, перевірте положення джамперів на IDE-пристроях (Master / Slave), зверніть увагу на шлейфи.

Primary slave drive fail — помилка ініціалізації накопичувача, що підключеного як допоміжний до первинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати. Рекомендації ті ж.

Secondary master drive fail — помилка ініціалізації накопичувача, що підключений як основний до вторинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати. Рекомендації ті ж.

Secondary slave drive fail — помилка ініціалізації накопичувача, що підключений як допоміжний до вторинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати. Рекомендації ті ж.

SMART Failure Predicted on Primary Master — є проблема з надійністю жорсткого диска, підключеного як основний до первинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати: найближчим часом він вийде з ладу. Необхідно, поки не пізно, перенести дані в інше місце й замінити даний жорсткий диск.

SMART Failure Predicted on Primary Slave — те ж саме для жорсткого диска, підключеного як допоміжний до вторинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати.

SMART Failure Predicted on Secondary Master — те ж саме для жорсткого диска, підключеного як основний до вторинного каналу стандартного IDE-контролера материнської плати.

SMART Failure Predicted on Secondary Slave — те ж саме для жорсткого диска, підключеного як допоміжний до вторинного каналу стандартного IDE-Контролера материнської плати.

Keyboard controller error — помилка контролера клавіатури. Перевірте, чи вірно підключена клавіатура. Якщо із клавіатурою все в порядку, на жаль, потрібна заміна або ремонт материнської плати.

Keyboard error or no keyboard present — помилка контролера клавіатури або сама клавіатура відсутня. Перевірте, чи підключена вона, чи не вийшла клавіатура з ладу.

Memory test fail — помилка оперативної пам'яті. Якщо це повідомлення буде з'являтися й надалі, замініте модуль пам'яті.

Memory Configuration error : The two SDRAM modules need to be swapped — помилка в конфігурації пам'яті, для нормальної роботи потрібно два модулі пам'яті. Необхідно додати другий модуль пам'яті.

OFFENDING ADDRESS NOT FOUND - не працює або збоїть контролер пам'яті. Якщо перезавантаження не допомагає, необхідно замінити або ремонтувати материнську плату.

OFFENDING SEGMENT: — не працює або збоїть контролер пам'яті. Якщо перезавантаження не допомагає, необхідно замінити або ремонтувати материнську плату.

RAM PARITY ERROR - CHECKING FOR SEGMENT... - помилка контролю парності оперативної пам'яті. Якщо це повідомлення буде з'являтися й надалі, необхідно замінити модуль пам'яті.

I/O CHANNEL CHECK - CHECKING FOR SEGMENT... - проблеми з каналами введення - виведення. Якщо перезавантаження не допомагає, то, перевірте карту розширення, що використовує даний сегмент пам'яті для введення - виведення. Якщо з картою все в порядку, можливим джерелом проблем є або оперативна пам'ять або материнська плата.

PRESS F1 TO DISABLE NMI, F2 TO REBOOT — проблеми з немаскувальними перериваннями. Якщо перезавантаження не допомагає, то, швидше за все, прийдеться замінити або ремонтувати материнську плату.

PRESS A KEY TO REBOOT — пропозиція натиснути будь-яку клавішу для перезавантаження комп'ютера. Дане повідомлення виводиться при виявленні помилки, що вимагає перезавантаження.

SYSTEM HALTED. (CTRL-ALT-DEL) TO REBOOT... - система зупинена в результаті помилки, для перезавантаження комп'ютера необхідно натиснути комбінацію клавіш Ctrl+Alt+Del.

DISK BOOT FAILURE, INSERT SYSTEM DISK AND PRESS ENTER — диск, з якого виконується завантаження, не системний, вставте системний диск і натисніть клавішу Enter.

Invalid Password — невірно введений пароль, що встановлений в BIOS Setup, і, що вимагається для завантаження комп'ютера.

Press Any Key to Continue — пропозиція натиснути будь-яку клавішу для продовження завантаження. Якщо на екран виводиться повідомлення, що вимагає вашої уваги, то слідом за ним буде виведена ця пропозиція.

Несправності, що зустрічаються у мікропроцесорних пристроях можна поділити на апаратні та програмні.

Як показує практика до причин зависань, відмов і несправностей мікропроцесорних систем (комп'ютерів) найбільше зустрічаються:

- порушення контактів в апаратній частині;
- перегрів НВІС (надвеликих інтегральних схем) електронних схем комп'ютера;
- обриви та мікротріщини багатошарових плат;
- вихід з ладу окремих вузлів, блоків, пристроїв;
- фізичне руйнування магнітного шару системної області жорсткого диска (вінчестера);
- порушення цілісності системного програмного забезпечення через випадкове або навмисне стирання;
- зараження програмного забезпечення вірусами.

2 Прилади та обладнання

1. Лабораторний макет «Персональний комп'ютер».
2. Тестер POST-кодів.
3. Модулі пам'яті DDRAM

3 Хід роботи

1. Провести діагностику працездатності лабораторного макету.

2. Записати та розшифрувати звукові коди процедури самотестування (POST).
3. Провести діагностику працездатності лабораторного макету з використанням тестера POST-кодів. Записати виявлені POST-кодів та розшифрувати їх. Визначити, що є несправним у лабораторному макеті.
4. Підключити до лабораторного макету монітор та визначити тип процесора, обсяг оперативної пам'яті. Навести результати тестування пам'яті.
5. Навести тестові повідомлення BIOS, що виводяться на екран монітора та розшифрувати їх.

4. Контрольні питання

Розробити алгоритм пошуку несправностей за такими зовнішніми ознаками роботи:

1. Не світиться індикатор «Power» й не чутий шум вентиляторів.
2. Індикатор «Power» не світиться, але чутий шум працюючих вентиляторів.
3. Індикатор «Power» світиться, але система не працює.
4. Індикатор «Power» світиться, але лунають два або більше коротких звукових сигнали.
5. Індикатор «Power» світиться, але система в процесі ініціалізації зависає
6. Індикатор активності накопичувача світиться безперервно.
7. Система працює, але немає зображення на екрані монітора.
8. Система не завантажується, зависає в період завантаження або під час роботи без видимих причин (після модернізації).
9. Комп'ютер з Windows XP увесь час перезавантажується.
10. Windows не завантажується, а програма ScanDisk повідомляє про наявність зіпсованих кластерів, які неможливо відновити
11. У процесі завантаження Windows з'являється повідомлення про помилку «Invalid System Disk...»
12. Система завантажується нормально, але перезавантажується або зависає при виконанні конкретної програми
13. Система завантажується нормально, але перезавантажується або зависає після декількох хвилин роботи
14. Після збільшення тактової частоти з метою розгону процесора спостерігаються помилки пам'яті
15. Після переконфігурування системи з метою розгону комп'ютер починає працювати, але швидко виникають помилки процесора
16. Повідомлення на екрані монітора - No boot sector on Hard disk drive
Симптом
17. Повідомлення на екрані монітора - Non-system disk or disk error
18. Немає доступу до жорсткого диска, але індикатор горить безперервно.
19. З'являється повідомлення про помилку «Track 0 not found»
20. З'являється повідомлення «CMOS checking is invalid. Default values will be loaded. Press any key to continue»

21. Миша не реагує на переміщення
22. Принтер (printer) не друкує повідомлення, що посилається на нього
23. Комп'ютер працює набагато повільніше, ніж звичайно.
24. Комп'ютер не завантажується з жорсткого диска.
25. При вмиканні комп'ютер не завантажується, курсор зависає в лівому верхньому куті дисплея.

Література

1. Белунцов В. Секреты BIOS. — СПб.: Питер, 2005. — 336 с.
2. Дэвидсон Г. Л. Поиск неисправностей и ремонт электронной аппаратуры без схем. — М: ДМК Пресс, 2002. - 544 с.
3. Кашкаров А. П. Ремонт электронной техники на микроконтроллерах— М.: NT Press, 2007 . – 249с.
4. Куликов Г. В. Бытовая аудиоаппаратура. Ремонт и обслуживание: Учебное пособие. — М: ДМК Пресс, 2001. - 320 с.
5. Пис Р.А. Обнаружение неисправностей в аналоговых схемах. — М.: Техносфера, 2007. — 192с.
6. Платонов Ю. М., Уткин Ю. Г. Диагностика зависания и неисправностей компьютера/Серия «Техномир». — Ростов-на-Дону: «Феникс», 2001. — 320 с.
7. Стивен Бигелоу. Устройство и ремонт персонального компьютера. Аппаратная платформа и основные компоненты. 2-е изд. Пер. с англ. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2005 г. — 976 с.
8. Томел Д., Уидмер Н. Поиск неисправностей в электронике. - М.: НТ Пресс, 2007. - 416 с.
9. Тули М. Справочное пособие по цифровой электронике. — М.: Энергоатомиздат — 1990г.