

## Електронно уредостроене

Уредостроене на английски език се превежда като **Instrumentation** -The design, construction, and provision of instruments for measurement, control, etc; the state of being equipped with or controlled by such instruments collectively - Oxford English Dictionary. **Instrumentation** също е общо название на контролно – измервателни уреди.

Терминът се използва за всичко свързано с оборудването при производството на стоки – как се прави, с какво се прави, как се измерва и т.н. Има и други значения, например свързани с музиката и т.н.

## Електронно уредостроене

В българския език думата “инструмент” се използва за оръдия на труда в земеделието, занаятите, машиностроенето, бита и т.н. В електрониката в този смисъл се използват термините “уреди”, “устройства”, “прибори”, а инструментите са отвертки, пинцети и т.н.

**Electronic Instrumentation** се превежда като Електронно уредостроене, като много често се използва **Electronic Measurement and Instrumentation** със същото значение.

## **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

Институтът на инженерите по електротехника и електроника е най-голямата професионална организация в света.

Има за основна цел развитието на технологичните нововъведения и върховите постижения в полза на човечеството. Институтът има повече от 400 000 членове в над 160 страни, като около 45% от тях - извън САЩ. Тя е световен лидер в разработването на стандарти в радиоелектрониката и електротехниката.

IEEE е много авторитетна в областта на развитието и установяването на стандарти, които са от съществено значение за мобилните мрежи, компютърните технологии и др. съвременни високи технологии.

## **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

IEEE е организирана в общества (Societies), които са насочени към определена по-тясна област. Те са 39 на брой.

Едно от тях е **IEEE Instrumentation and Measurement Society**. Областите, в които работят неговите членове са науката, технологията и приложението на измервателните уреди.

Обществото включва 21 технически комитета, които са специализирани в различни направления на уредостроенето и измервателната техника.

## **Технически комитети**

TC-1 - Nondestructive Evaluation and Industrial Inspection (NDE&II)

TC-4 - High Frequency Measurement and Connector

TC-6 - Emerging Technologies in Measurements

TC-7 - Signals And Systems in Measurement

TC-9 - Sensor Technology

TC-10 - Waveform Generation, Measurement & Analysis

TC-13 - Wireless & Telecommunications in Measurements

TC-15 - Virtual Systems in Measurements

TC-17 - Materials in Measurements

TC-18 - Environmental Measurements

## **Технически комитети**

TC-19 - Imaging Measurements and Systems

TC-20 - Transportation Systems in Measurements

TC-22 - Intelligent Measurement Systems

TC-25 - Medical and Biological Measurements

TC-32 - Fault Tolerant Measurement Systems

TC-34 - Nanotechnology in Instrumentation and Measurement

TC-37 - Measurements and Networking

TC-39 - Measurements in Power Systems

TC-40 - Secure and Dependable Measurement

TC-41 - Traffic Enforcement Technologies

TC-42 - Photonic Technology in Instrumentation and Measurement

## Електронно уредостроене

В зависимост от аудиторията, учебните курсове и книгите по тази тематика могат да включват аналоговата и цифровата схемотехника, измерването на електрически и неелектрически величини, както и всичко, свързано с проектирането на електронни изделия.

При електронните специалности, повечето от тези въпроси са обект на отделни курсове.

При не-електронни специалности тези курсове, обикновено, са предназначени за добиването на общи знания в областта.

## Електронно уредостроене

Предмет на този курс по “Електронно уредостроене” са въпросите по проектиране на електронни устройства в различни области, които се разглеждат като цяло, от край до край.

За разлика от други курсове по схемотехника, където, например се изучават различни по предназначение електронни схеми, в този курс се разискват въпросите за избора на най-подходящата според предназначението на уреда схема и проектиране на уреда като цяло. Избират се и захранващият блок, изходните стъпала и т.н.

Водещи при избора са конкретното предназначение на уреда и условията, при които ще работи.



## Електронно уредостроене

Съществена част от курса са въпросите за електромагнитната съвместимост. При създаването на съвременни електронни устройства това е задължителен етап както при проектирането, така и при задължителните изпитвания преди производството и въвеждането в експлоатация.

Заедно със “стандартната” електромагнитна съвместимост, която се отнася до работата на устройството в реална среда при наличието на електрически смущения, са разгледани и въпросите за съвместимостта между отделните части в едно устройство (уред).

## Електронно уредостроене

Освен общите въпроси, в курса са разгледани уреди, използвани в електроенергетиката и в различни области на промишлеността и бита.

Дадени са и примери на уреди в областта на охранителната техника, офис-техниката и др.

Повечето от темите са изложени под формата на проектиране на съответното устройство, като се започва с проучване, създаване на техническо задание, блокова схема, избор на схема и т.н. Когато устройството включва и микроконтролери (изисква се програмно осигуряване), се коментират и най-важните части от алгоритъма, най-вече с оглед надеждна работа (електромагнитна съвместимост).

## Електромагнитна съвместимост

Електромагнитната съвместимост представлява възможността на електронните измервателни и управляващи уреди да запазват своите характеристики когато са изложени на електрически и/или електромагнитни смущения.

Съвместимостта на дадено устройство се разглежда от две страни:

- възможността му да работи под влияние на смущения;
- генерираните от него смущения към други устройства.

## Електромагнитна съвместимост

Изискванията не са еднакви за всички устройства. В зависимост от приложението (отговорността) на всяко устройство, се определя на какви въздействия то трябва да издържа.

Така, ако едно устройство ще работи под земята, в мина, трябва да отговаря на едни условия и съответно, ако работи на открито – на други.

Типовете работна среда са разделени според условията на средата и изискванията за безопасност.

## Електромагнитна съвместимост

За да се докаже пригодността на всяко устройство, то се подлага на проверки и изпитвания. Определени са типовете изпитвания, които се извършват, като за всяко изпитване се задават класове и нива според строгостта на изискванията.

Тези изпитвания не се отнасят само до електрическите смущения, а и до взривоопасност, пожароопасност и т.н, т.е. и към изискванията за работа в съответната среда.

## Електромагнитна съвместимост



# Електромагнитна съвместимост



R&S®BBL200 broadband amplifier

- Frequency range between 9 kHz and 250 MHz
- Output power of 3000 W, 5000 W or 10000 W at 1 dB compression point
- 100 % mismatch tolerance
- Suitable for amplitude, frequency, phase, pulse and OFDM modulation
- Liquid-cooled, compact and quiet

## Електромагнитна съвместимост

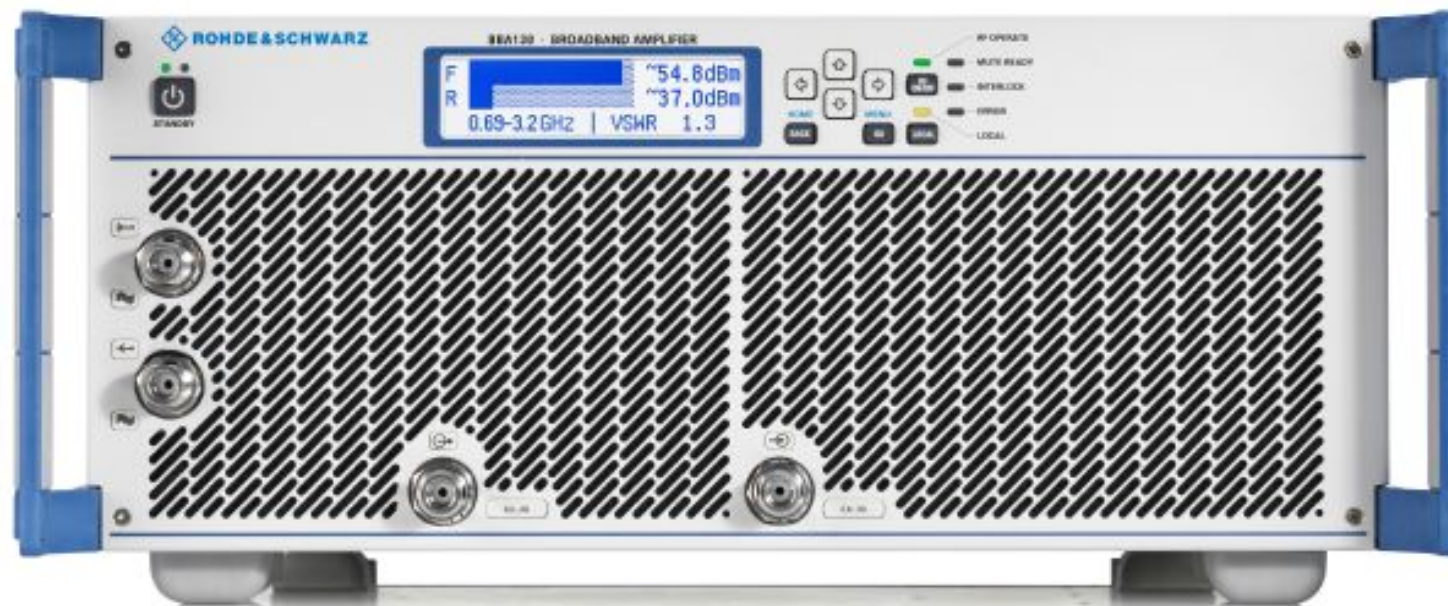


R&S®BBA150 broadband amplifier

- Frequency range between 4KHz and 6 GHz
- Output power between 15W and 3000W at 1dB compression point
- 100% mismatch tolerance
- Suitable for amplitude, frequency, phase, pulse and OFDM modulation
- Extensive switching options for flexible system configurations



## Електромагнитна съвместимост



R&S®BBA130 broadband amplifier

- Frequency range between 80 MHz and 6 GHz
- Output power between 22 W and 13000 W
- Adjustable in bias point and mismatch tolerance
- Suitable for amplitude, frequency, phase, pulse and OFDM modulation
- Flexibly scalable and upgradable in frequency and power

## Електромагнитна съвместимост

Стандарт IEC 1000-4 (предишен IEC-801) на Международната Електротехническа комисия (International Electrotechnical Commission) установява общата база за оценка на работата на уредите за измерване и управление на промишлените процеси, когато са изложени на електрически или електромагнитни смущения.

Видовете смущения, които се имат предвид, са генерирани от външни за изпитваното оборудване източници.

## Електромагнитна съвместимост

Изпитванията за устойчивост срещу смущенията според Стандарт IEC 1000-4 са проектирани, за да се демонстрира способността на оборудването да функционира правилно след инсталирането му в работната среда.

Видът на необходимия тест трябва да се определи въз основа на смущенията, на които оборудването може да бъде изложено, когато е инсталирано, като се имат предвид електрическите връзки (т.е. начинът, по който “нулата” и екранът са свързани към земята), качеството на приложената екранировка и средата, в която системата трябва да работи.

## Електромагнитна съвместимост

Стандарт IEC 1000-4 се разделя на шест секции:

IEC 1000-4-1. Introduction

IEC 1000-4-2. Electrostatic Discharge Requirements

IEC 1000-4-3. Radiated Electromagnetic Field Requirements

IEC 1000-4-4. Electrical Fast Transient (Burst) Requirements

IEC 1000-4-5. Surge Voltage Immunity Requirements

IEC 1000-4-6. Immunity to Conducted Disturbances Induced by Radio

Frequency Fields Above 9kHz

(IEC Electromagnetic Compatibility Standards for Industrial Process Measurement and Control Equipment, AN9734, Harris Semiconductor, January 1998)

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-2. Electrostatic Discharge (ESD) Requirements

Целта на това изпитване е да се провери реакцията на оборудването когато се подлага на електростатични разряди, които могат да възникват от персонала или от предмети, които са близо до жизнено важни инструменти.

За да се тества чувствителността на оборудването към ESD, трябва да се създаде опитна постановка. Пряко и непряко прилагане на разрядите към изпитваното оборудване (EUT) е възможно по следния начин:

- а) пряко към проводимите и към свързващите повърхности;
- б) по въздух към изолационните повърхности.

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-2. Electrostatic Discharge (ESD) Requirements

Нива на устойчивост на ESD

| LEVEL | TEST VOLTAGE:<br>CONTACT DISCHARGE | TEST VOLTAGE:<br>AIR DISCHARGE |
|-------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1     | 2kV                                | 2kV                            |
| 2     | 4kV                                | 4kV                            |
| 3     | 6kV                                | 8kV                            |
| 4     | 8kV                                | 15kV                           |
| X     | Special                            | Special                        |

# Електромагнитна съвместимост

## IEC 1000-4-2. Electrostatic Discharge (ESD) Requirements

### Характеристики на генератора на ESD

| LEVEL | INDICATED VOLTAGE | FIRST PEAK CURRENT OF DISCHARGE ( $\pm 10\%$ ) | RISE TIME WITH DISCHARGE SWITCH | CURRENT AT 30ns ( $\pm 30\%$ ) | CURRENT AT 60ns ( $\pm 30\%$ ) |
|-------|-------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1     | 2kV               | 7.5A   | 0.7 to 1ns                      | 4A                             | 2A                             |
| 2     | 4kV               | 15A  | 0.7 to 1ns                      | 8A                             | 4A                             |
| 3     | 6kV               | 22.5A  | 0.7 to 1ns                      | 12A                            | 6A                             |
| 4     | 8kV               | 30A  | 0.7 to 1ns                      | 16A                            | 8A                             |

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-3. Radiated Electromagnetic Field Requirements

Този тест показва чувствителността на инструменталната екипировка при подлагане на електромагнитни полета като тези, генерирани от преносими радиопредаватели или всяко друго устройство, което ще генерира непрекъснато вълни (CW) излъчена електромагнитна енергия.

Нива на устойчивост

Честотен обхват: 27MHz до 500MHz

| LEVEL | TEST FIELD STRENGTH (V/M) |
|-------|---------------------------|
| 1     | 1                         |
| 2     | 3                         |
| 3     | 10                        |
| X     | Special                   |



## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-4. Electrical Fast Transient (Burst) Requirements

Този тест има за цел да измерва устойчивостта на оборудването, когато е подложено на смущения, в следствие на бързи преходни процеси.

#### Нива на устойчивост

#### Изходно напрежение на празен ход

| LEVEL | ON POWER SUPPLY | ON INPUT/OUTPUT SIGNAL DATA AND CONTROL LINES |
|-------|-----------------|---|
| 1     | 0.5kV           | 0.25kV  |
| 2     | 1kV             | 0.5kV   |
| 3     | 2kV             | 1kV   |
| 4     | 4kV             | 2kV   |
| X     | Special         | Special                                       |

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-4. Electrical Fast Transient (Burst) Requirements

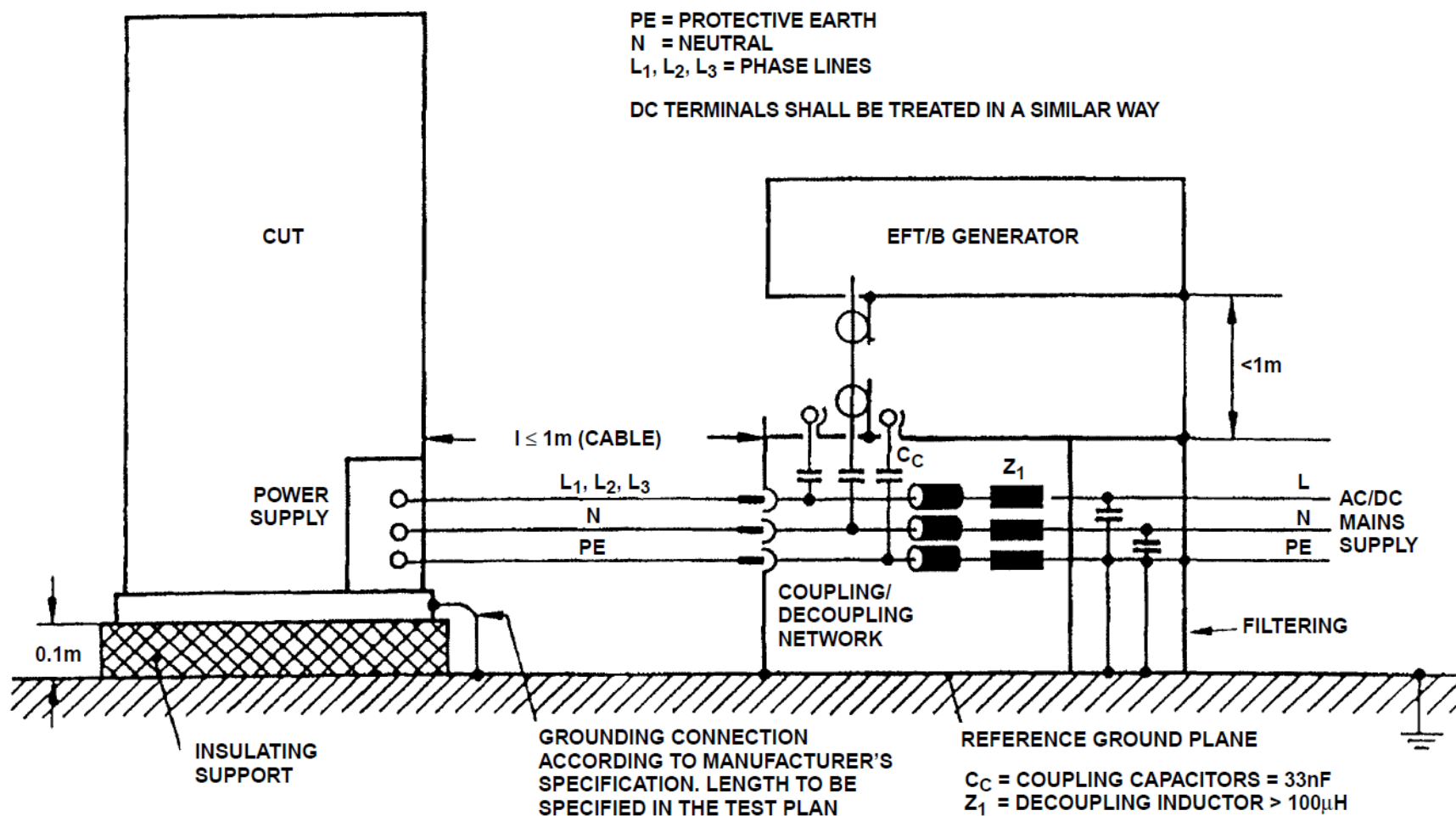
#### Характеристики на генератора на тестови сигнали

- Rise time of one pulse: 5ns  $\pm$ 30%
- Impulse duration (50% value): 50ns  $\pm$ 30%
- Repetition rate of the impulses and peak values of the output voltage:
  - 5kHz  $\pm$ 20% at 0.125kV
  - 5kHz  $\pm$ 20% at 0.25kV
  - 5kHz  $\pm$ 20% at 0.5kV
  - 5kHz  $\pm$ 20% at 1.0kV
  - 5kHz  $\pm$ 20% at 2.0kV
- Burst duration: 15ms  $\pm$ 20%
- Burst period: 300ms  $\pm$ 20%

# Електромагнитна съвместимост

## IEC 1000-4-4. Electrical Fast Transient (Burst) Requirements

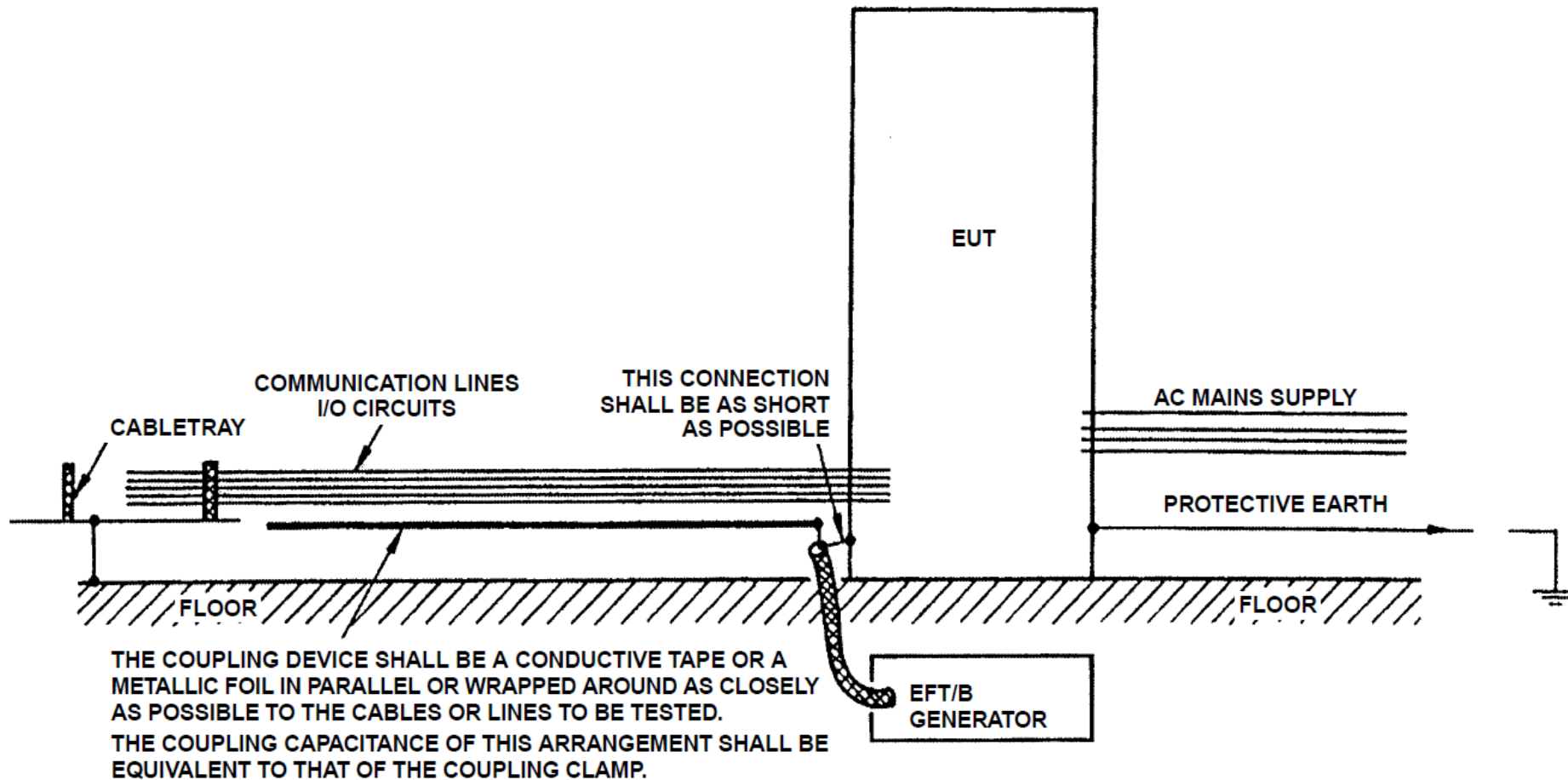
Изпитания с подаване на тестови сигнали към захранващите входове



# Електромагнитна съвместимост

## IEC 1000-4-4. Electrical Fast Transient (Burst) Requirements

Изпитания с подаване на тестови сигнали към комуникационни и вход/изход вериги



# Електромагнитна съвместимост

## IEC 1000-4-5. Surge Voltage Immunity Requirements

Целта на лабораторния тест е да се определи чувствителността на оборудването към повреди, причинени от свръхнапрежение, в следствие на превключване на електрически вериги и мълнии.

### Нива на устойчивост

| CLASS | POWER SUPPLY          |                          | UNSYM LINES<br>LONG DATA BUS |                          | SYMMETRICAL<br>LINES        | DATA BUS<br>SHORT (DIST) |
|-------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|       | LINE TO LINE<br>Z = 2 | LINE TO<br>GROUND Z = 12 | LINE TO LINE<br>Z = 42       | LINE TO<br>GROUND Z = 42 | LINE TO<br>GROUND<br>Z = 42 | LINE TO<br>GROUND        |
| 0     | No Test is Advised    |                          |                              |                          |                             |                          |
| 1     | -                     | 0.5kV                    | -                            | 0.5kV                    | 1.0kV                       | -                        |
| 2     | 0.5kV                 | 1.0kV                    | 0.5kV                        | 1.0kV                    | 1.0kV                       | 0.5kV                    |
| 3     | 1.0kV                 | 2.0kV                    | 1.0kV                        | 2.0kV                    | 2.0kV                       | -                        |
| 4     | 2.0kV                 | 4.0kV                    | 2.0kV                        | 4.0kV                    | -                           | -                        |
| 5     | (Note 8)              | (Note 8)                 | 2.0kV                        | 4.0kV                    | 4.0kV                       | -                        |
| X     | Special               |                          |                              |                          |                             |                          |

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-5. Surge Voltage Immunity Requirements

Характеристики на генератора на тестови сигнали

- Изходно напрежение на празен ход. . . . . 0.5kV до 4.0kV
- Изходен ток на късо съединение. . . . . 0.25kA до 2.0kA

|                       | IN ACCORDANCE WITH IEC60-2 |                    | IN ACCORDANCE WITH IEC469-1 |                    |
|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
|                       | FRONT TIME                 | TIME TO HALF VALUE | RISE TIME (10%-90%)         | DURATION (50%-50%) |
| Open Circuit Voltage  | 1.2 $\mu$ s                | 50 $\mu$ s         | 1 $\mu$ s                   | 50 $\mu$ s         |
| Short Circuit Current | 8 $\mu$ s                  | 20 $\mu$ s         | 6.4 $\mu$ s                 | 16 $\mu$ s         |

## Електромагнитна съвместимост

### IEC 1000-4-5. Surge Voltage Immunity Requirements

Характеристики на генератора на тестови сигнали (според ССІТТ)

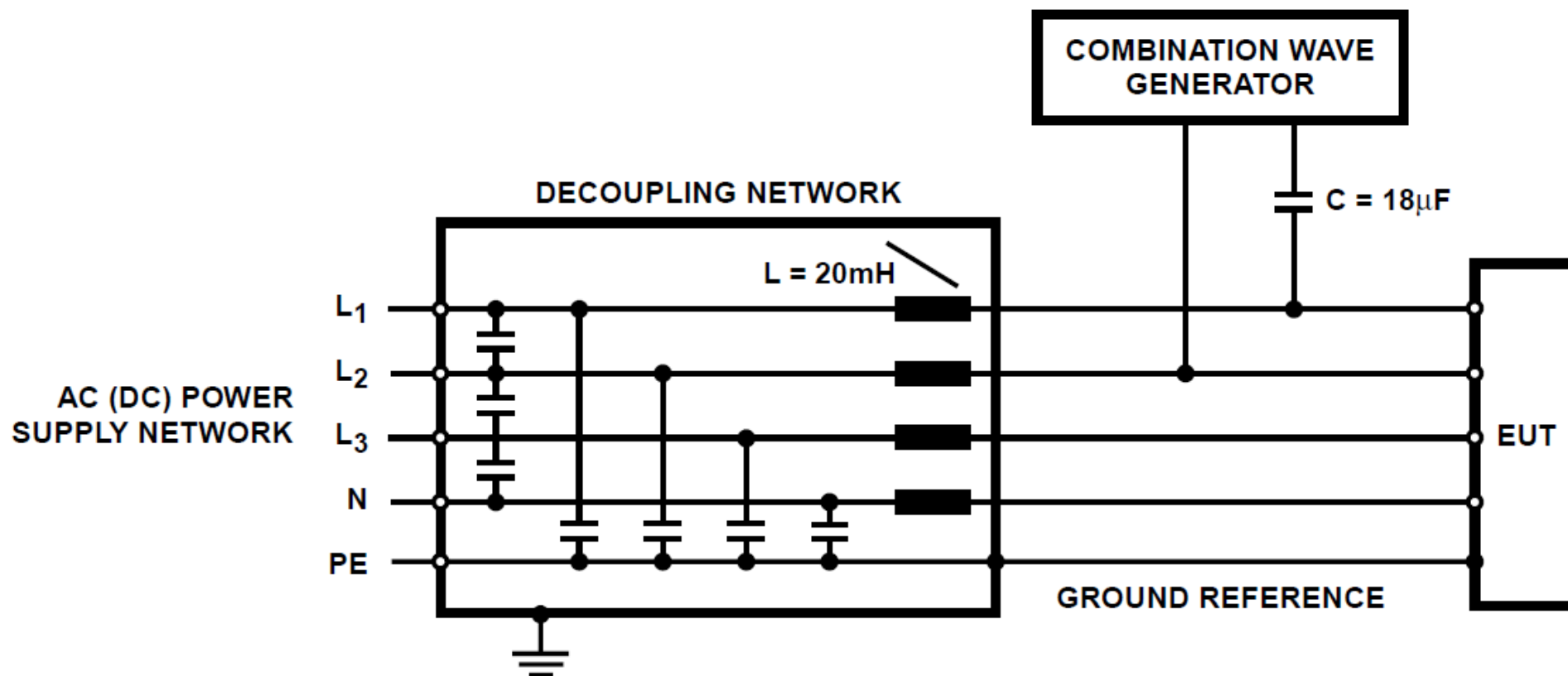
- Изходно напрежение на празен ход. . . . . 0.5kV до 4.0kV
- Изходен ток на късо съединение. . . . . 12.5A до 100A

|                       | IN ACCORDANCE WITH IEC60-2 |                    | IN ACCORDANCE WITH IEC469-1 |                    |
|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
|                       | FRONT TIME                 | TIME TO HALF VALUE | RISE TIME (10%-90%)         | DURATION (50%-50%) |
| Open Circuit Voltage  | 10 $\mu$ s                 | 700 $\mu$ s        | 6.5 $\mu$ s                 | 700 $\mu$ s        |
| Short Circuit Current | -                          | -                  | 4 $\mu$ s                   | 300 $\mu$ s        |

# Електромагнитна съвместимост

## IEC 1000-4-5. Surge Voltage Immunity Requirements

Прилагане на тестови сигнали към захранващите входове





# Електромагнитна съвместимост

## Резултати от изпитанията

След изпитанията възможните резултати са:

1. Нормално функциониране в предписаните граници на точността.
2. Временна неработоспособност и самовъзстановяване.
3. Временна неработоспособност, която изисква намеса на оператор или рестартиране на системата.
4. Необратима неработоспособност, която се дължи на повреда на устройството (или негов компонент), или на програмното осигуряване, или на загуба на данни.

## Електромагнитна съвместимост

### Изисквания към захранването

Всички електронни устройства, за да работят, се нуждаят от електрозахранване. Негов източник може да бъде мрежата, батерия, акумулаторна батерия, околната среда и т.н. Параметрите на захранването са първите изисквания към устройствата по отношение на електромагнитна съвместимост. Устройствата трябва да бъдат работоспособни когато захранването е в допустимите от стандартите граници. В много редки случаи, за особено прецизни измервателни уреди, изискванията към захранването са по-строги. Това най-често се отнася до отклонения в захранващата мрежа от  $\pm 5\%$ , вместо стандартните  $\pm 10\%$ .

## Електромагнитна съвместимост

### Изисквания към захранването

Освен разрешените изменения на честотата и напрежението на мрежата, в стандартите са описани още краткотрайни пропадания, хармонични съставки и др. Всички тези отклонения от “идеалната” синусоида, описваща мрежовото напрежение, действат като смущаващи сигнали, на които електронната апаратура трябва да е устойчива.

В стандарта (от 2010 г.) за качеството на електрическата енергия **БДС EN 50160:2010** “Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически мрежи” може да се намерят техническите данни.

## Електромагнитна съвместимост

### Изисквания към захранването

Електрическите смущения най-вече са в резултат на множество комутации в мрежата, от една страна и на паразитните индуктивности на мрежовите проводници от друга. Не само по-мощните консуматори предизвикват смущения. Множеството маломощни (“дребни”) устройства, с ключови (импулсни) захранвания например, могат да внесат “зашумяване” в мрежата. Друг източник на смущения са машини, които излъчват мощни електромагнитни импулси.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Преходните процеси в електрическите вериги се предизвикват от внезапното отделяне на предварително съхранена енергия. Тази енергия може да бъде съхранявана в мрежата и освободена от случайно или контролирано превключващо действие, или може да е външна и да бъде внесена в схемата, представляваща интерес.

Внезапна промяна в състоянието на всяка електрическа верига ще предизвика скок в напрежението, който ще бъде генериран от енергия, съхранена в индуктивност или капацитет на същата верига.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Преходните процеси могат да бъдат повтаряеми или да бъдат случайни импулси. Повтаряемите, като комутационни пренапрежения, превключване на индуктивни товари и т.н., са по-лесни за наблюдаване, разпознаване и потискане.

Случайните преходни процеси се появяват в непредсказуемо време, на отдалечени места и може да изискват инсталирането на инструменти за наблюдение, за да се открие тяхната поява.

(An Overview of Electromagnetic and Lightning Induced Voltage Transients, AN9769, Harris Semiconductor, January 1998)

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Пренапреженията, възникващи в променливотокови вериги за ниско напрежение, произхождат от два основни източника: превключвания в мрежата и пряко или непряко въздействие на мълнии върху енергийната система. Възникването на преходните процеси може да се дължи на:

- (1) превключване на големи енергийни системи като кондензаторни батерии;
- (2) превключване на малки товари в близост до точката на интерес;
- (3) резонансни схеми, свързани с превключването на тиристори;
- (4) различни системни повреди, като къси съединения и аварии.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Внезапна промяна в условията на всяка електрическа верига ще предизвика преходно напрежение, което ще бъде генерирано от енергията, която е съхранена в индуктивността и капацитета на веригата.

Скоростта на промяна на тока ( $di / dt$ ) в индуктивността ( $L$ ) ще генерира напрежение, равно на  $-L di / dt$ , и то ще бъде с такъв поляритет, че токът продължава да тече в същата посока -  $U=L.di/dt$  или опростено  $U=L.\Delta I/\Delta t$ .

Ако приемем стойности 10А, 1 $\mu$ s и 10 $\mu$ H се получава напрежение  $U=100$  V.



# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

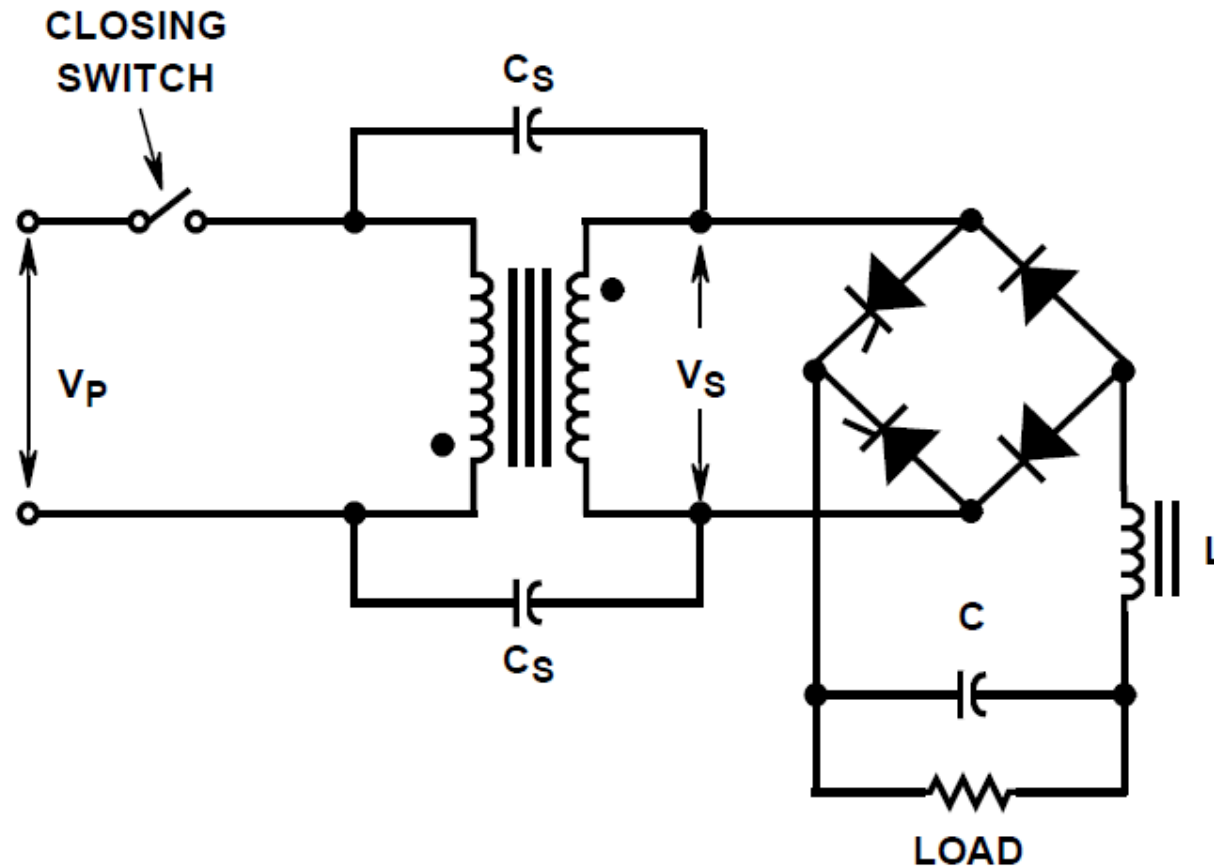
Пренапреженията се получават в мощни преобразователни устройства при превключване на товари и при повреди.

Ефектът е кратък, тъй като енергията на източника на смущение е ограничена до запазената енергия в индуктивността ( $Li^2/2$ ), която обикновено се разсейва при висока моментна мощност (Енергия = мощност x време). Но простият ефект от едно превключване може да се повтори няколко пъти по време на последователност от превключвания (например искрене в контактната междина на прекъсвач), така че кумулативните ефекти могат да бъдат значителни.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

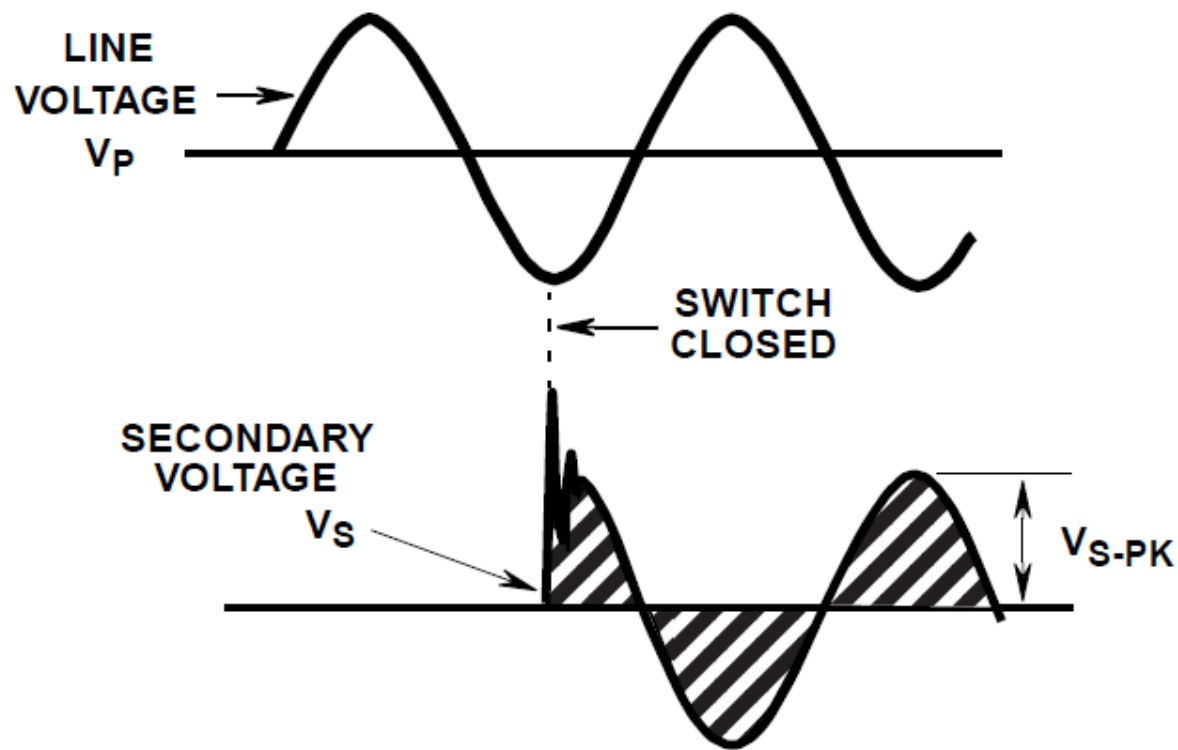
Подаване на напрежение към първичната намотка на трансформатор



# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Подаване на напрежение към първичната намотка на трансформатор

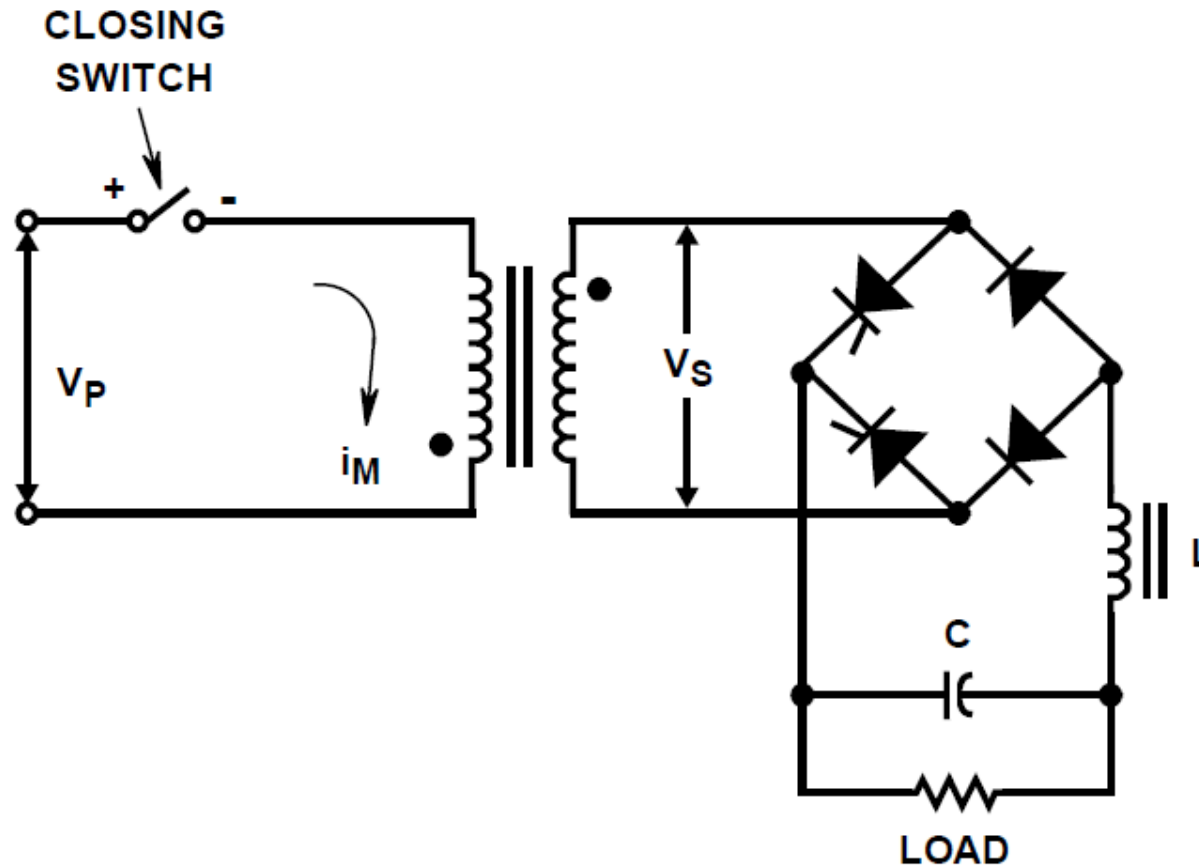


Включването при максимална стойност на първичното напрежение може да доведе до скок на вторичното напрежение с амплитуда до два пъти по-голяма от нормалната максимална стойност.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

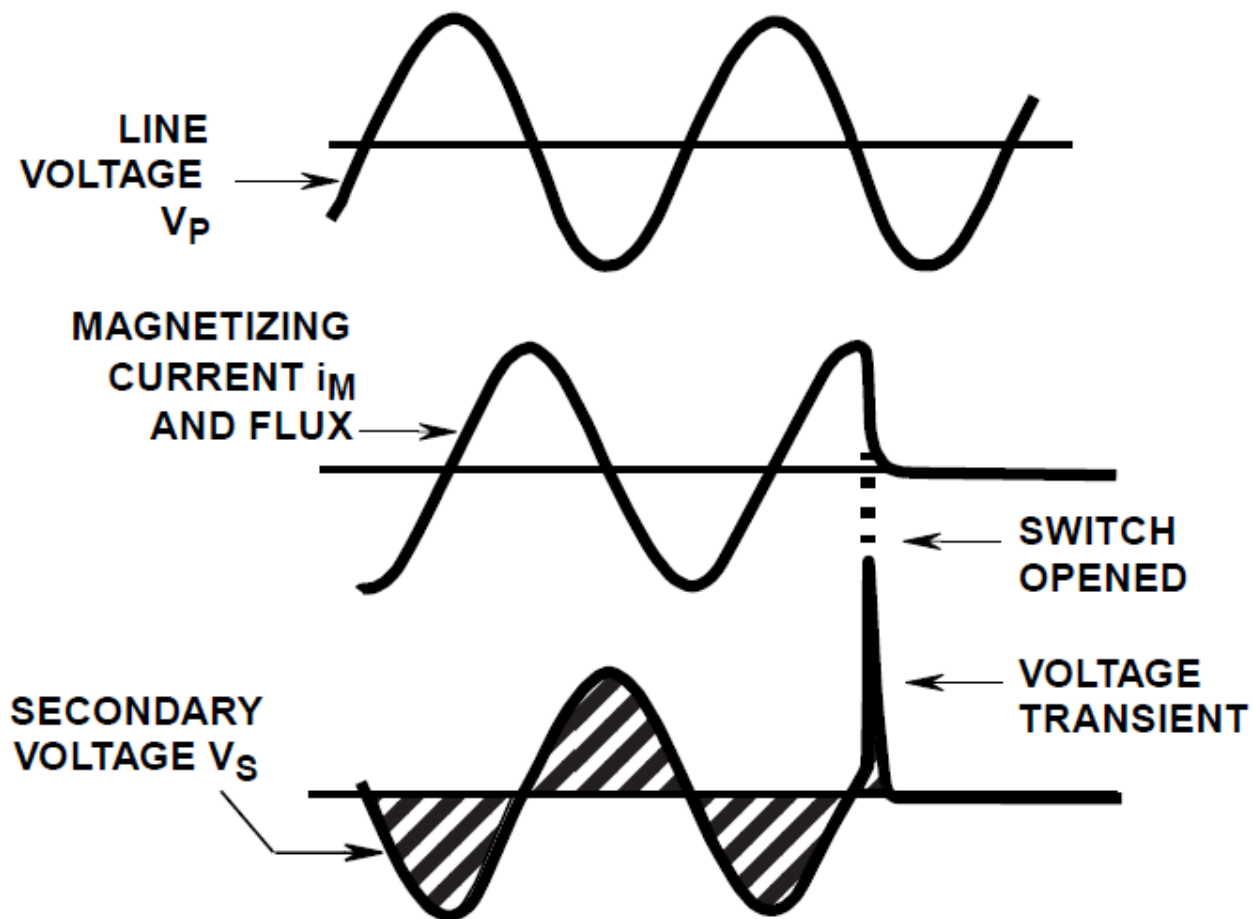
Изключване на напрежението към първичната намотка на трансформатор



# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Изключване на напрежението към първичната намотка на трансформатор

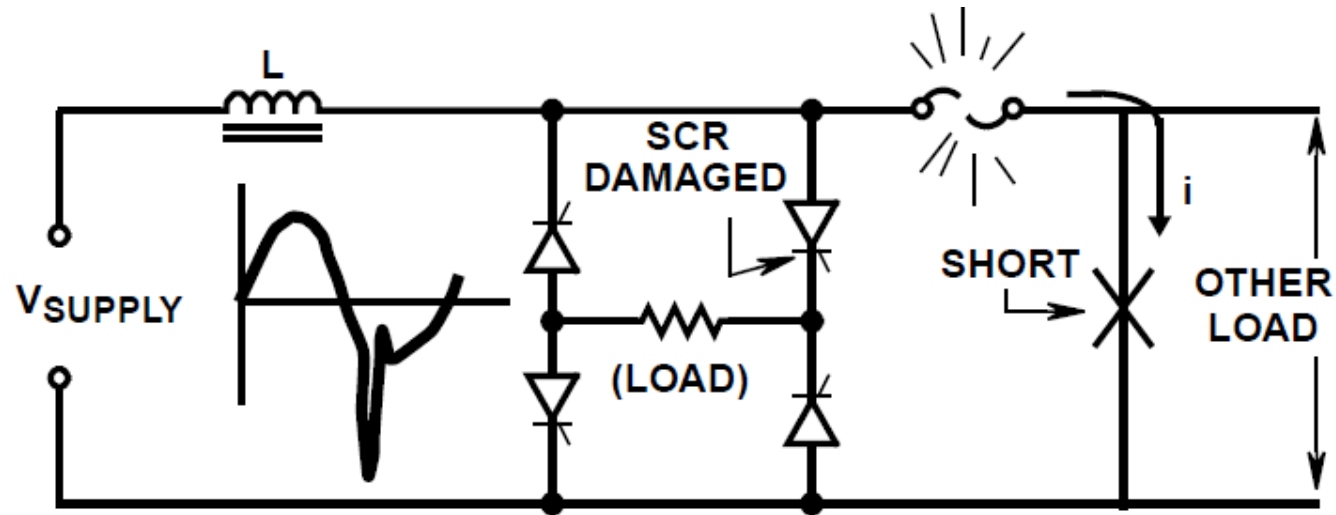


Изключването на първичното напрежение генерира големи скокове на вторичното напрежение, особено ако трансформаторът захранва високоимпедансен товар. Наблюдават се превишения над десет пъти нормалната амплитуда.

# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

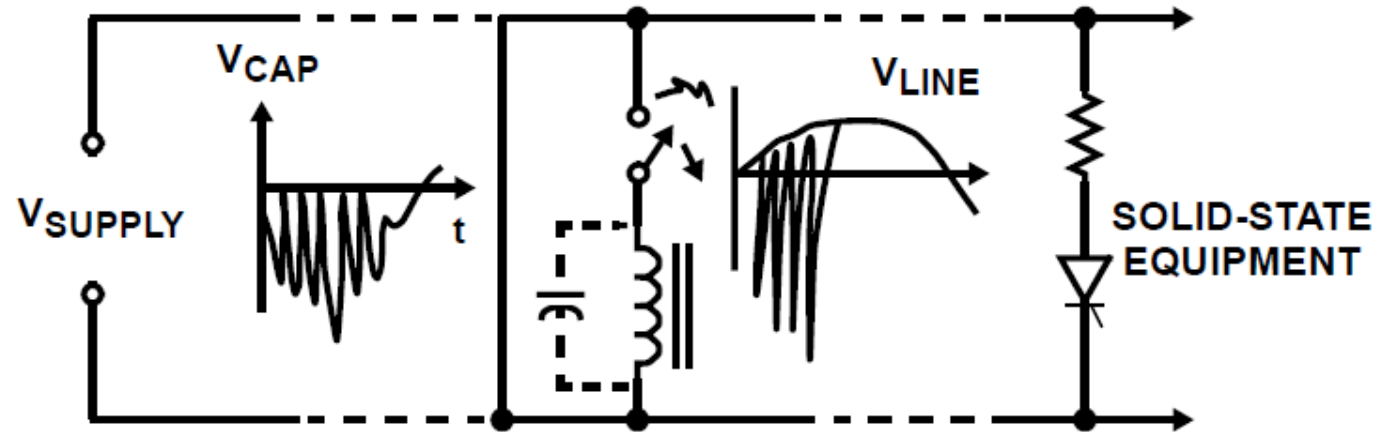
Повреда във верига с източник с индуктивен характер



# Електромагнитна съвместимост

Източници на смущения

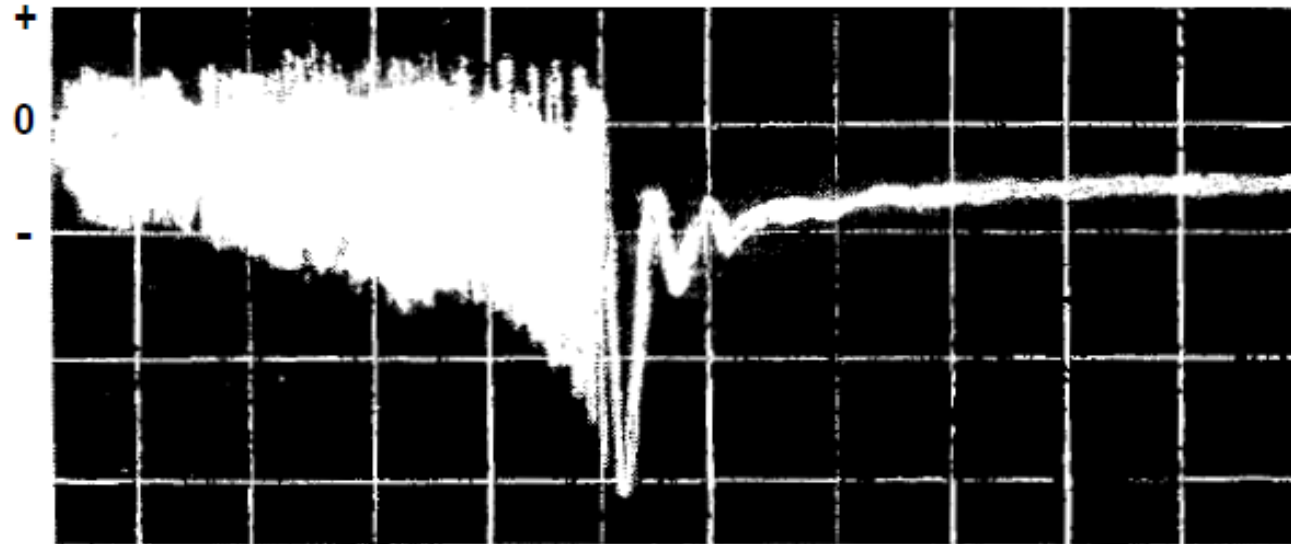
Контактно искрене



# Електромагнитна съвместимост

Източници на смущения

Контактно искрене



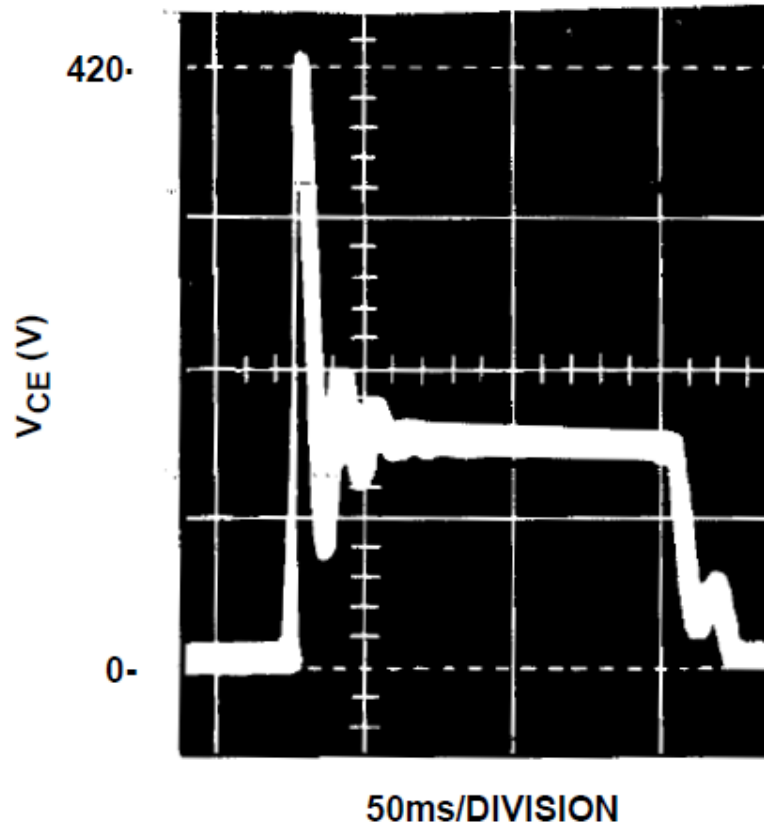
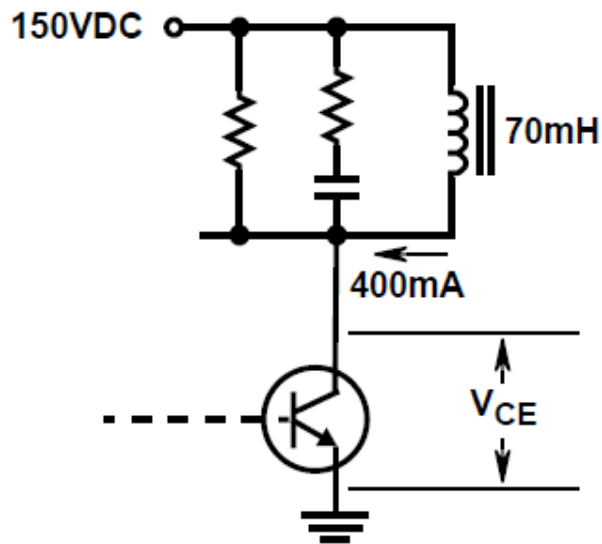
HORIZONTAL -t, 500 $\mu$ s/DIV., VERTICAL -V, 1.0kV/DIV



# Електромагнитна съвместимост

Източници на смущения

Използване на безконтактен ключ (БП транзистор)



# Електромагнитна съвместимост

## Източници на смущения

Отношение между напрежението на системата и преходните отскоци

