

Електромагнитна съвместимост

Излъчените емисии могат да възникнат само когато са изпълнени следните условия:

а) Съществува източник на смущения, който генерира достатъчно високо ниво на смущения в честотния диапазон на радиочестотните емисии (напр. бързо превключващи сигнали)

б) Съществува свързващ механизъм, който предава генерираните сигнали за смущения от източника на смущения към излъчвателя

в) Има някакъв излъчващ елемент, който може да излъчва енергията, произведена от източника, в далечното поле (например свързан кабел, слотове в корпуса или печатна платка, която действа като антена)

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

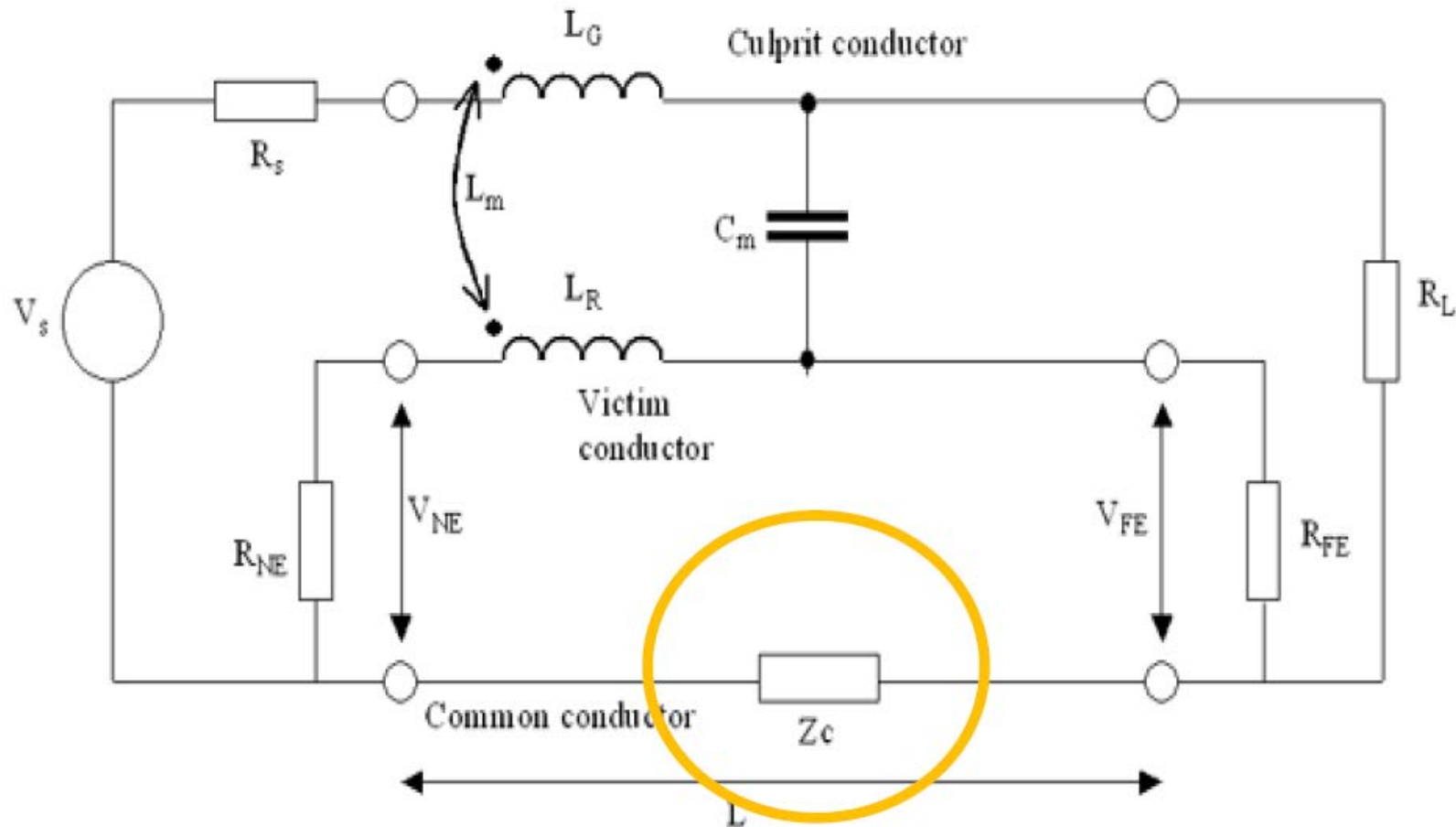
Проникване на смущенията

- 1) По общ проводник
- 2) По индуктивен път
- 3) Капацитивно
- 4) Безжично

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Проникване на смущенията по общ проводник

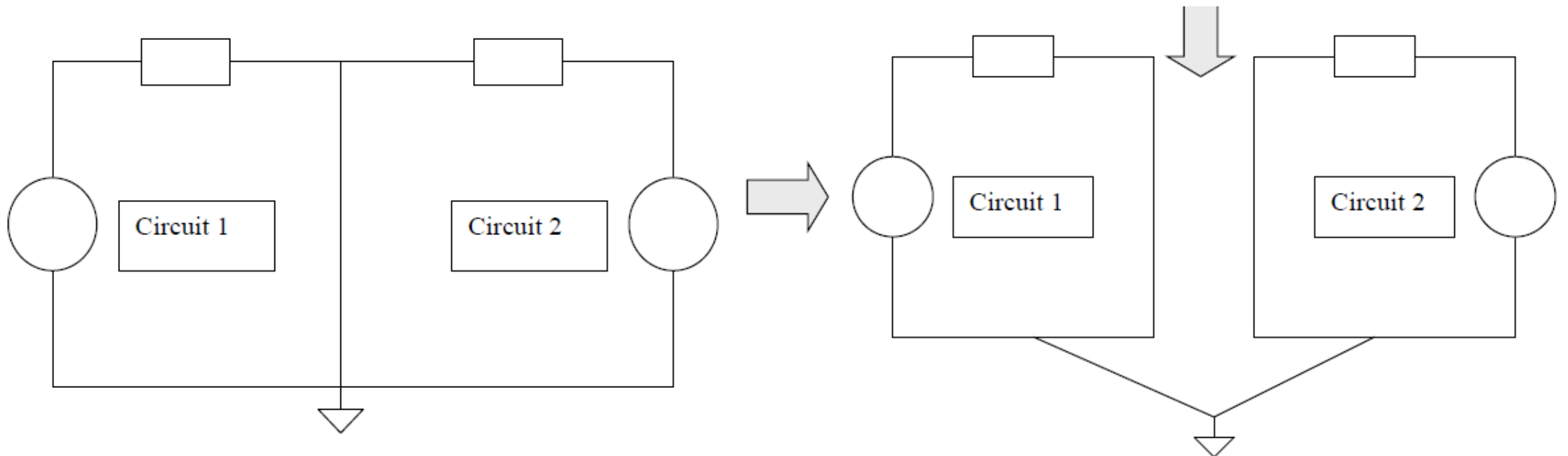


Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Проникване на смущенията по общ проводник – противодействие

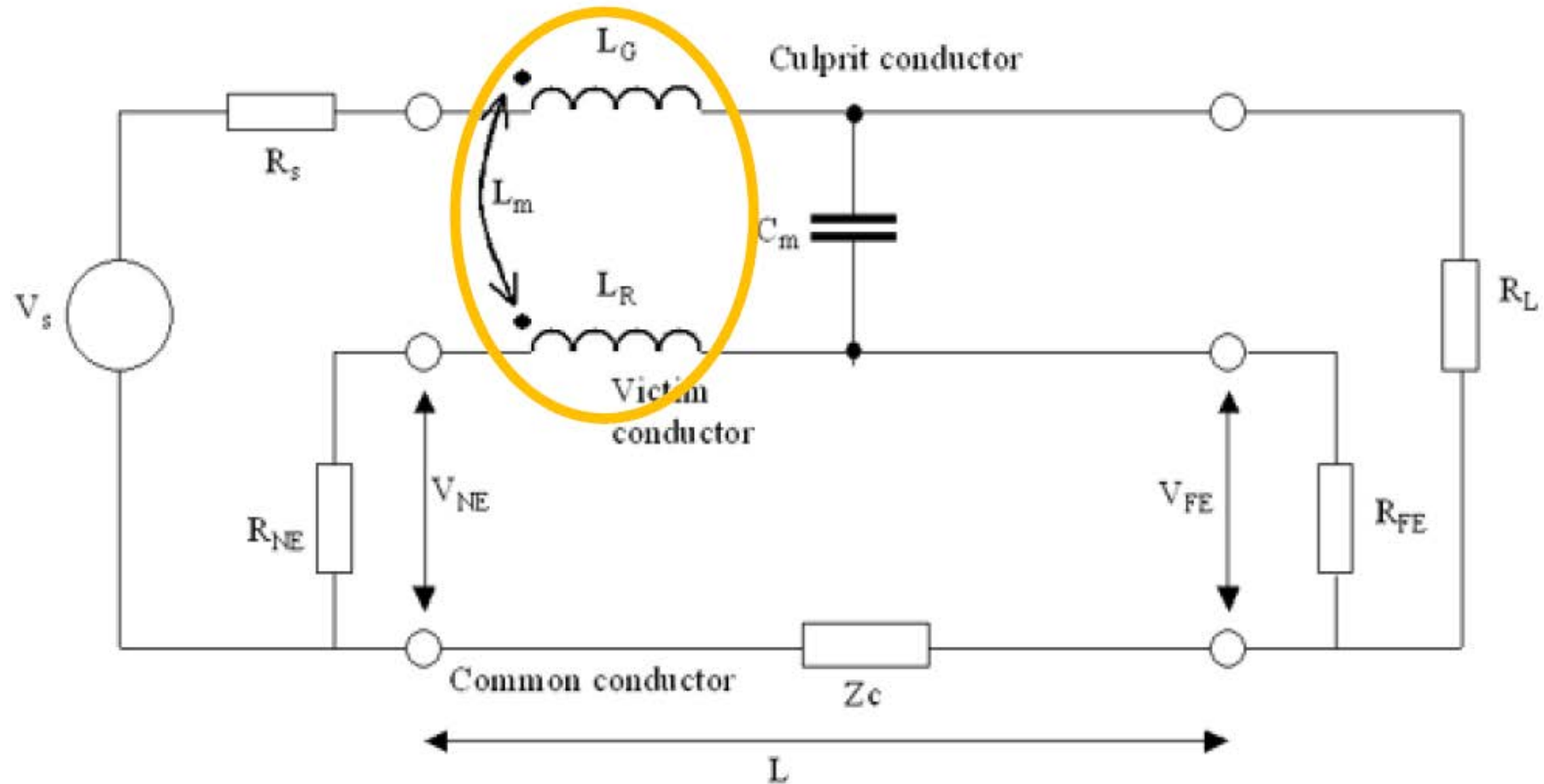
- Филтриране на проникналия шум;
- Отстраняване на общия проводник.



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

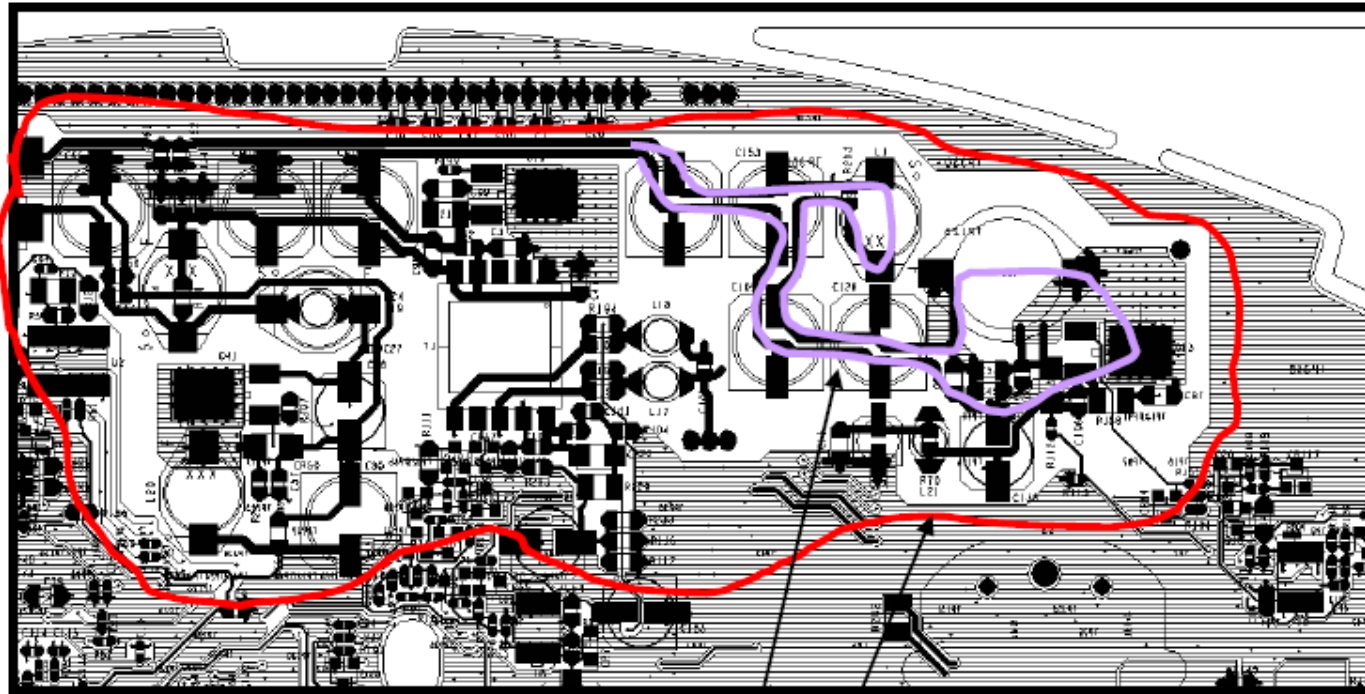
Проникване на смущенията по индуктивен път



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Проникване на смущенията по индуктивен път



Два затворени контура - земя шум



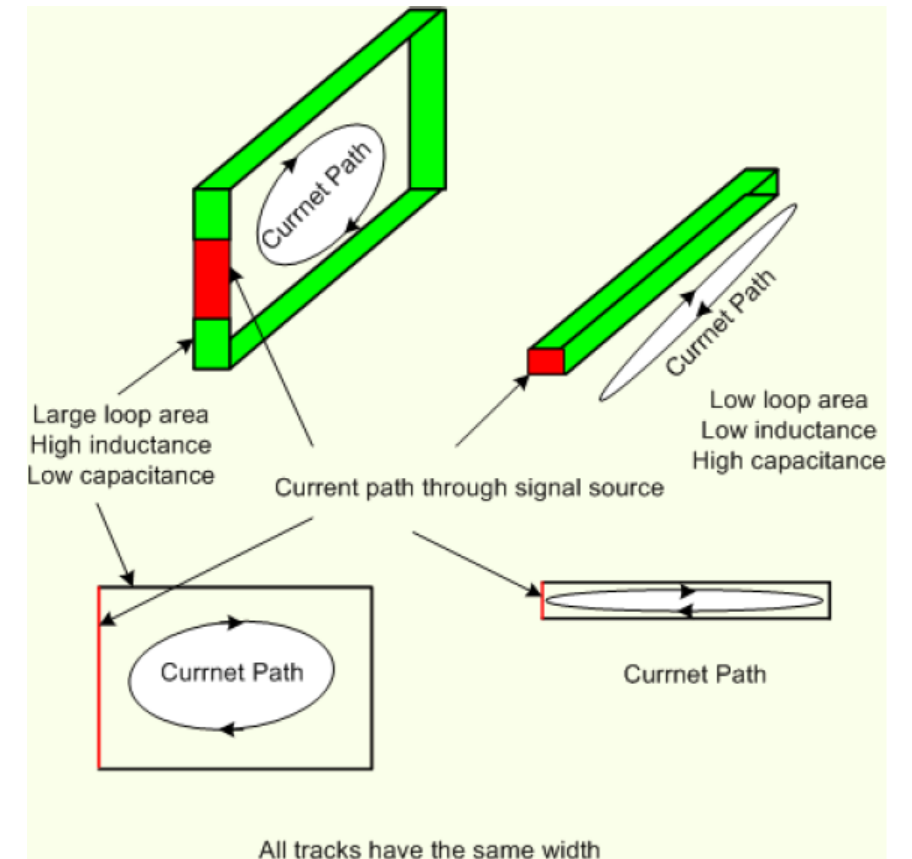
- 1) Всеки затворен контур има собствена индуктивност.
- 2) Токът с висока честота може да предизвика синфазно напрежение във втория контур.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Проникване на смущенията по индуктивен път – противодействие

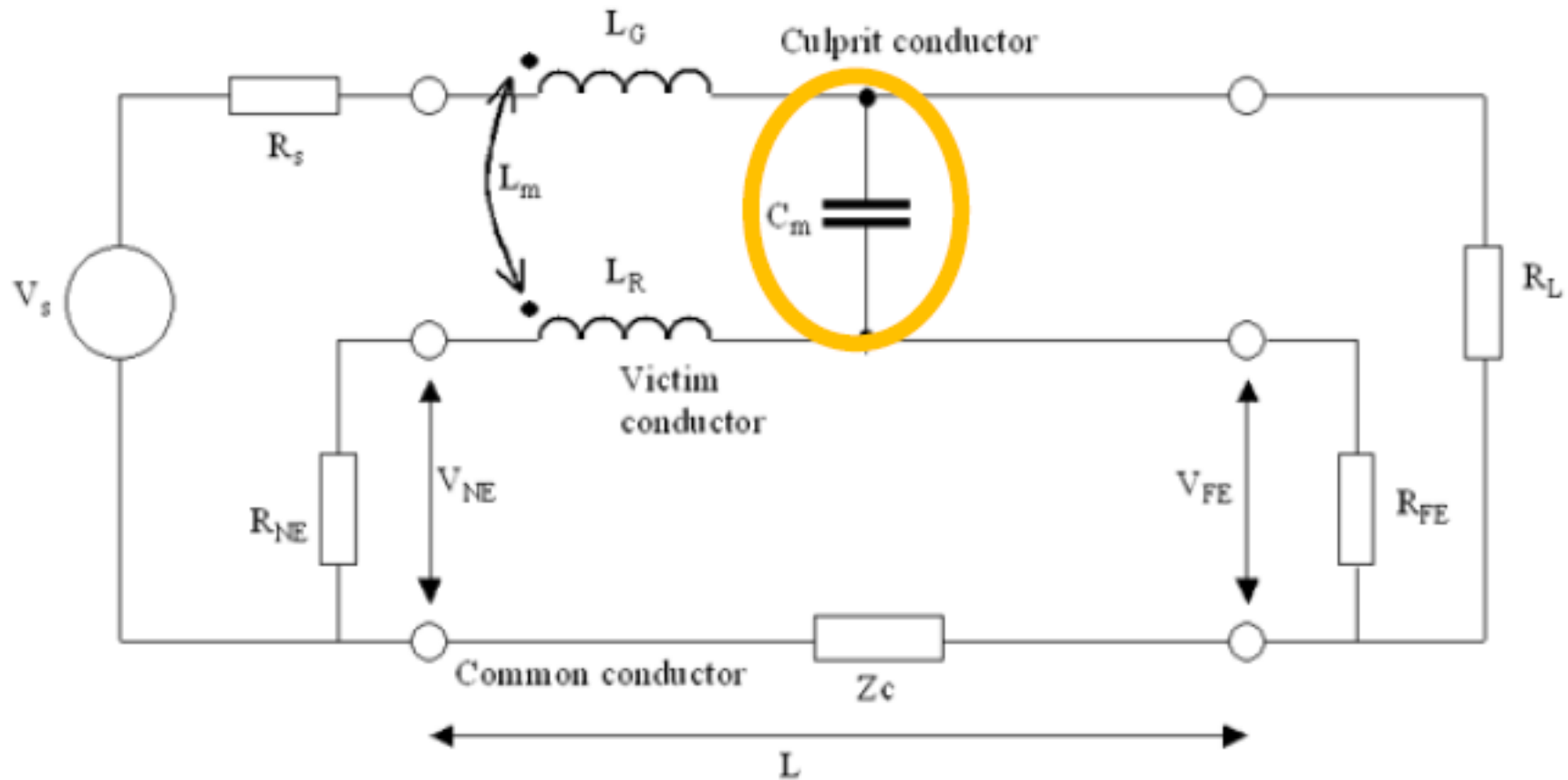
- Увеличаване на R_L спрямо R_s ;
- Намаляване площта на затворените контури;
- Приближаване на проводниците.



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

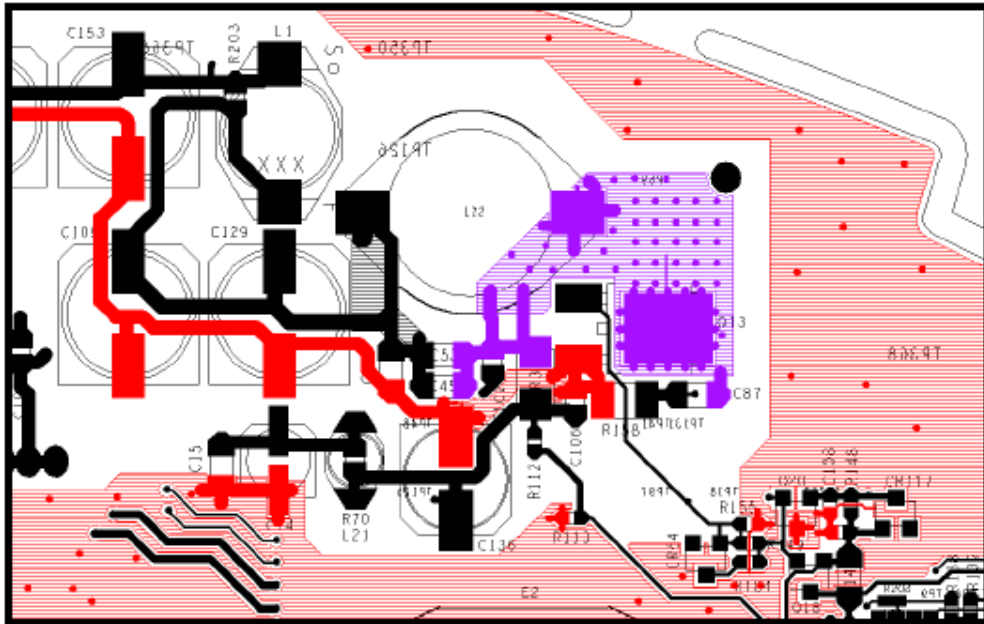
Капацитивно проникване на смущенията



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Капацитивно проникване на смущенията



Две повърхности - земя импулсен източник

1) Две разделени повърхности образуват капацитет.

2) Шумовото напрежение между един метален обект и другите предизвиква протичане на синфазен ток.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Капацитивно проникване на смущенията – противодействие

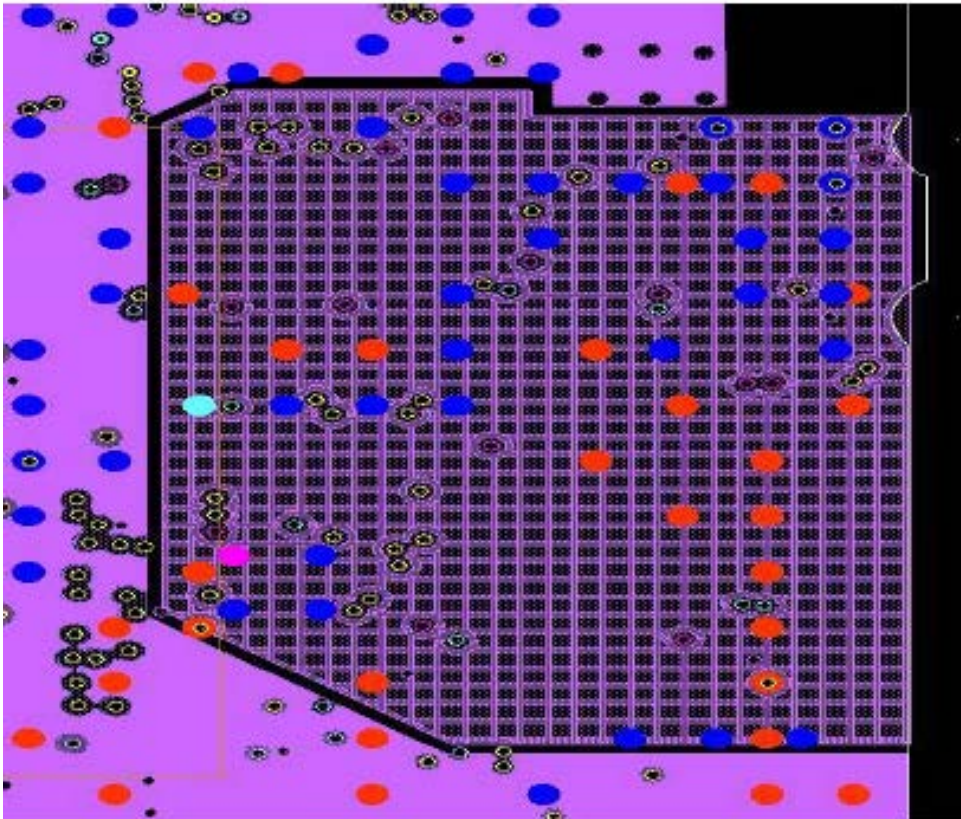
- Да се увеличи разстоянието между схемите;
- Да се намалят повърхностите от мед на печатната платка;
- Да се контролира силата на електростатичното поле;
- Да се отклони шумовия ток, като се използва екран;
- Да се използва екранираща писта на печатната платка.

*Входите с високо съпротивление (ОУ) са много чувствителни към външния шум. Да се свързват с къси писти на печатната платка.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Капацитивно проникване на смущенията – противодействие



- 1) Намалена площ на медта, свързана към AGND (аналогова земя).
- 2) Изработване на зоната на AGND като мрежа вместо изпълнена изцяло с мед.
- 3) Добавяне на by-pass кондензатор директно между входа на ОУ и AGND.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

1. Правилен избор на формата на печатните платки (едно-, дву- или многослойни).
2. Всяка сигнална писта трябва да има своя обратен път наблизо.
3. Правилно развързване за всяка ИС или група от интегрални схеми.
4. Позволени дължини на пистите и площи на затворените контури.
5. Разполагане на съединителите.
6. Избор на подходящи кабел и съединител.
7. Правилното използване и разполагане на филтрите и елементите им.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Еднослойни печатни платки



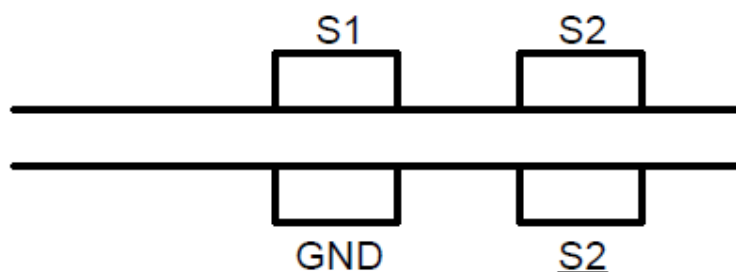
$$d(S1 \leftrightarrow GND) < d(S2 \leftrightarrow S1)$$

Електромагнитна съвместимост

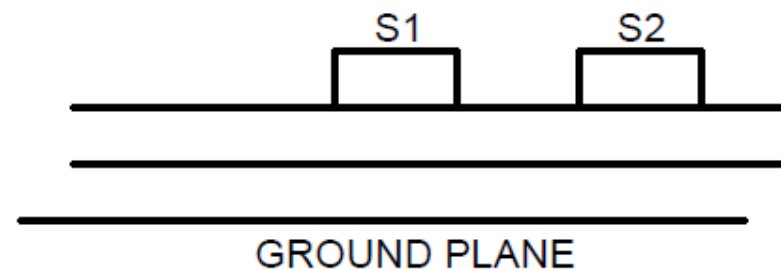
Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Двуслойни печатни платки



$$d(S1 \leftrightarrow GND) < d(S2 \leftrightarrow S2)$$



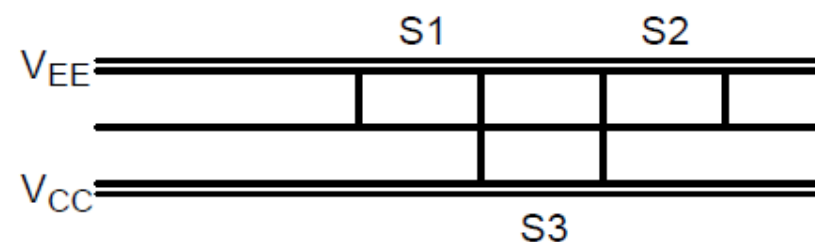
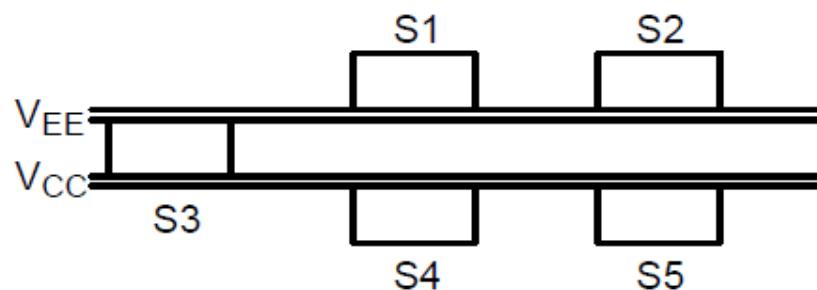
$$d(S1 \leftrightarrow GND) \text{ и } d(S2 \leftrightarrow GND) < d(S1 \leftrightarrow S2)$$

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Многослойни печатни платки



$$d(S_i \leftrightarrow V_{EE}) \text{ или } d(S_i \leftrightarrow V_{CC}) < d(S_i \leftrightarrow S_j)$$

$1 \leq i, j \leq \text{брой на сигналните писти}$

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала

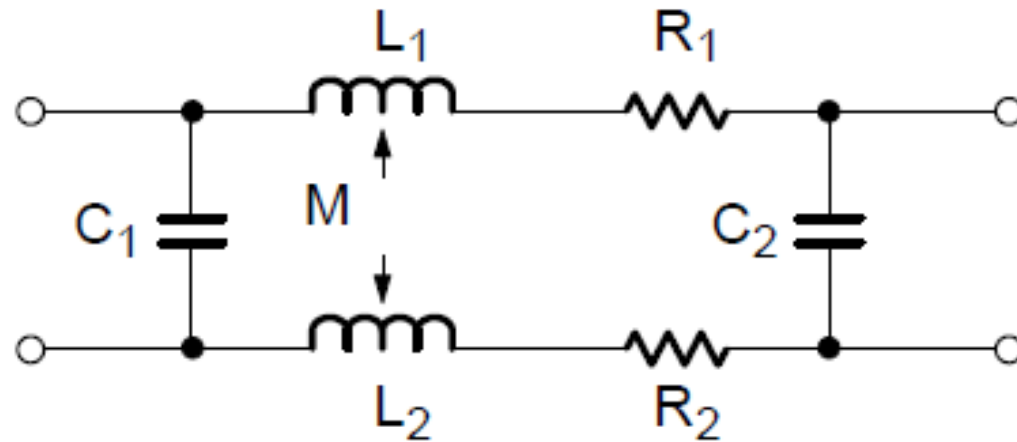
Диференциални RF смущения се излъчват от печатни платки при протичане на тока през сигнални писти, при които активният и връщащият проводници не са трасирани заедно, и образуващи проводящ контур. В този случай източникът на смущения е резултат от основната му функция, т.е. прехвърляне на данни между два компонента. Полученото магнитно поле на контура е пропорционално на тока, площта на контура и квадрата на честотата на RFI тока.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала



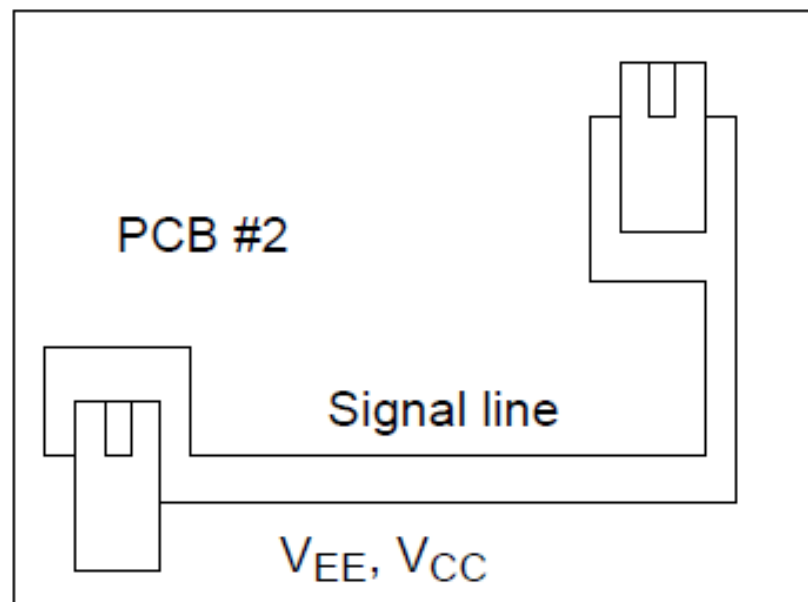
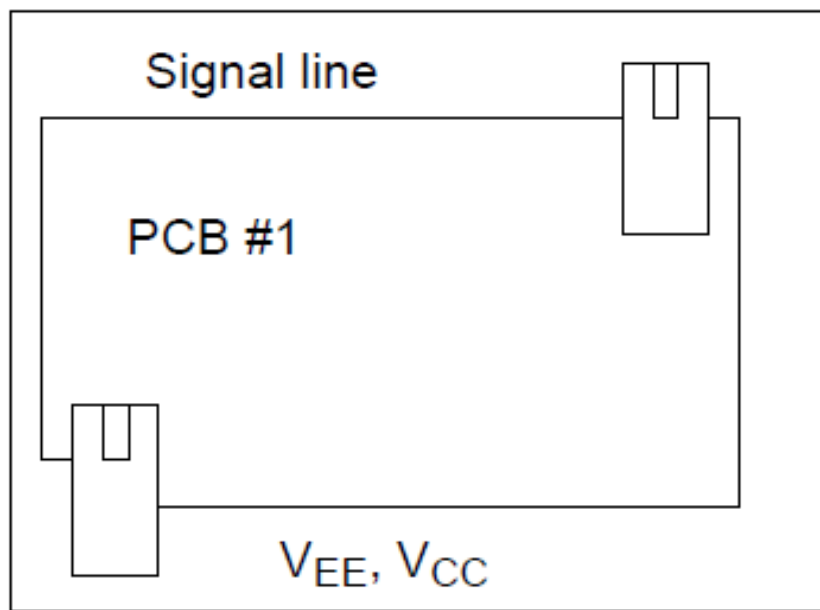
Модел на предавателна линия, образувана от сигнална писта и обратния път на сигнала.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала



Превръщане на свободна сигнална писта в предавателна линия

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала

Обратният път за връщане на сигнала трябва да бъде максимално близо, за да се предотврати излъчването от този затворен контур и да се намали чувствителността към напрежения, които могат да бъдат внесени в него, например чрез RF предаватели и ESD.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала

За всяка сигнална писта на печатната платка между два (под-) блока, независимо аналогови или цифрови могат да бъдат дефинирани три предавателни линии.

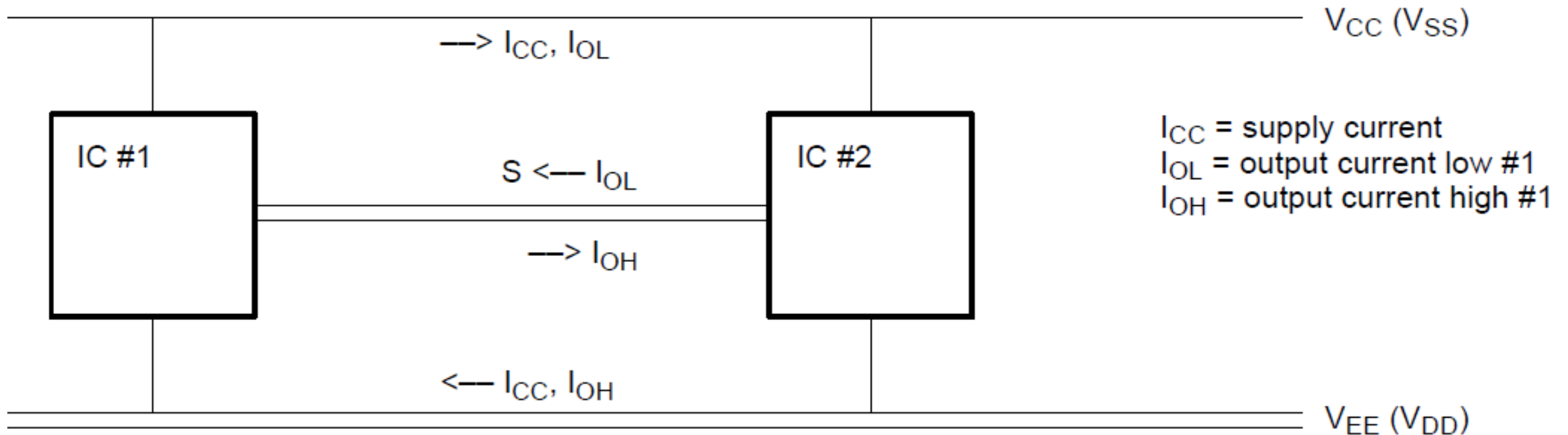
При различните логически фамилии трябва правилно да се определи предавателната линия в зависимост от стойността на изходния ток.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала

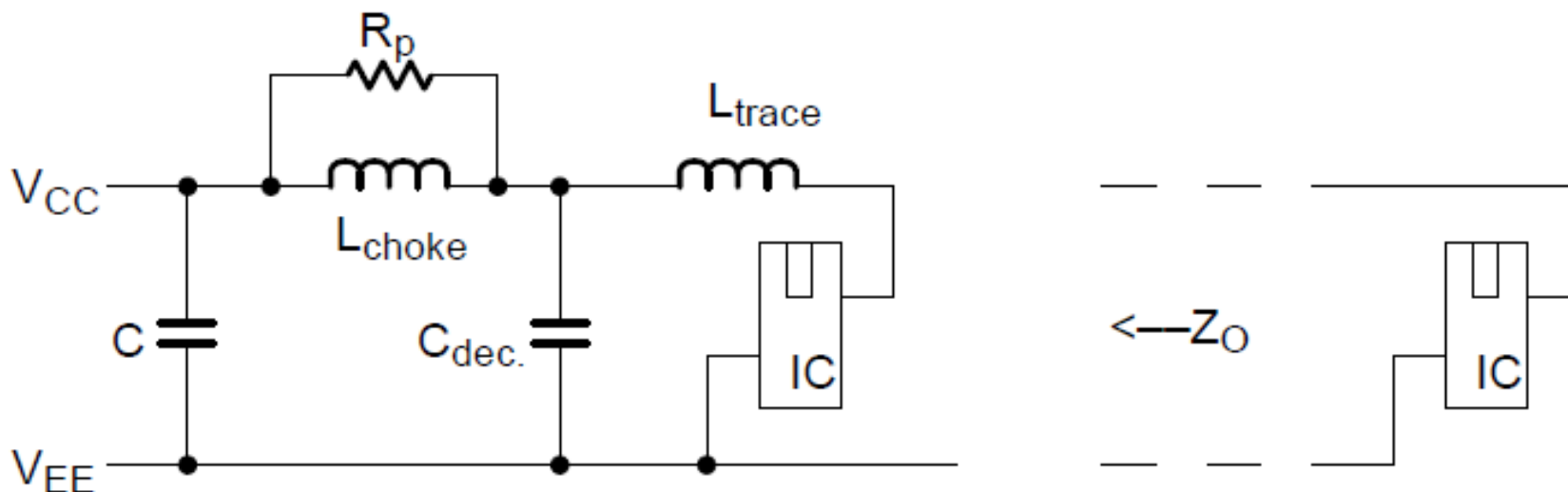


Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала



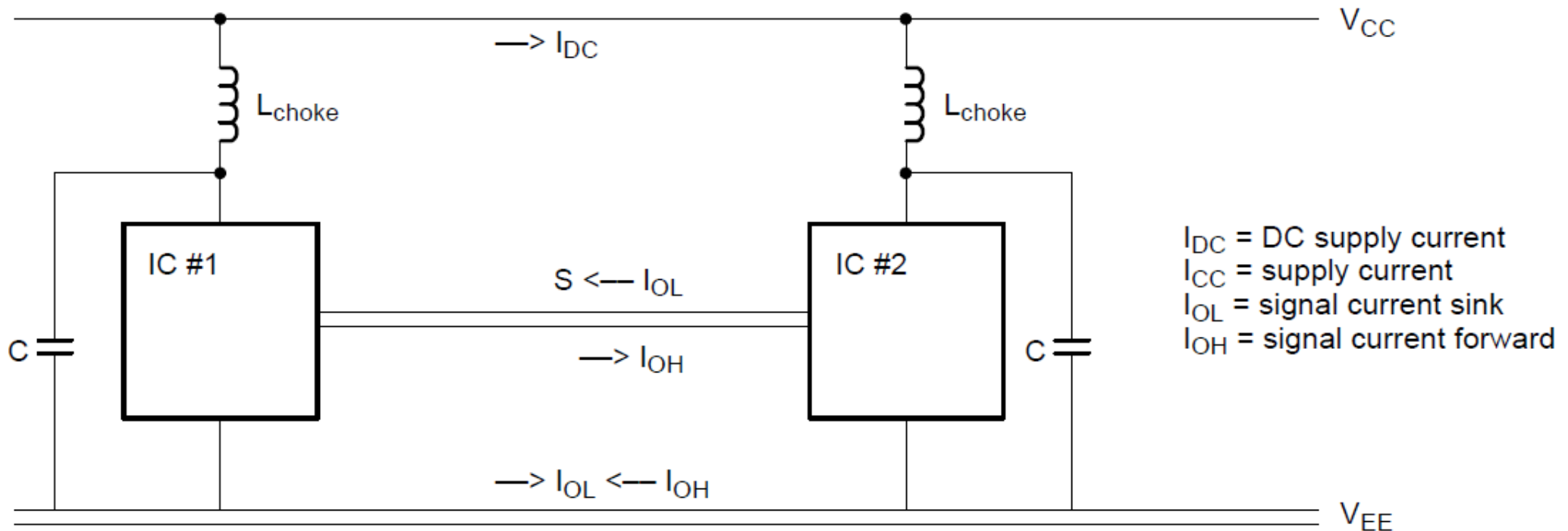
Поставяне на развързващи индуктивности и кондензатори

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Осигуряване на обратен път на сигнала



Намаляване броя на предавателните линии от три на една

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при едно- и двуслойни печатни платки

Целта е осигуряване на адекватно захранване на динамичните ИС, необходимо за намаляване на емисиите в захранването в следствие на постоянното превключване (simultaneous switching noise - SSN).

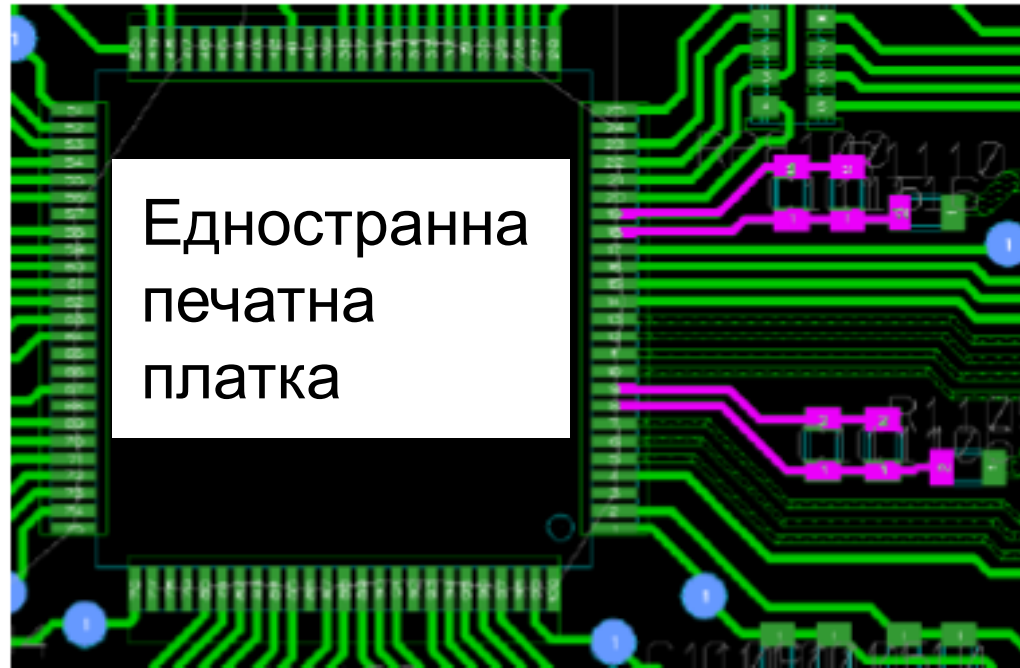
- Връзките да са къси и да се избягват проходни отвори;
- Да се постави електролитен кондензатор близо до захранването;
- 2 отделни кондензатори със същата стойност са по-добри от един кондензатор със същата обща стойност на капацитета.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при едно- и двуслойни печатни платки

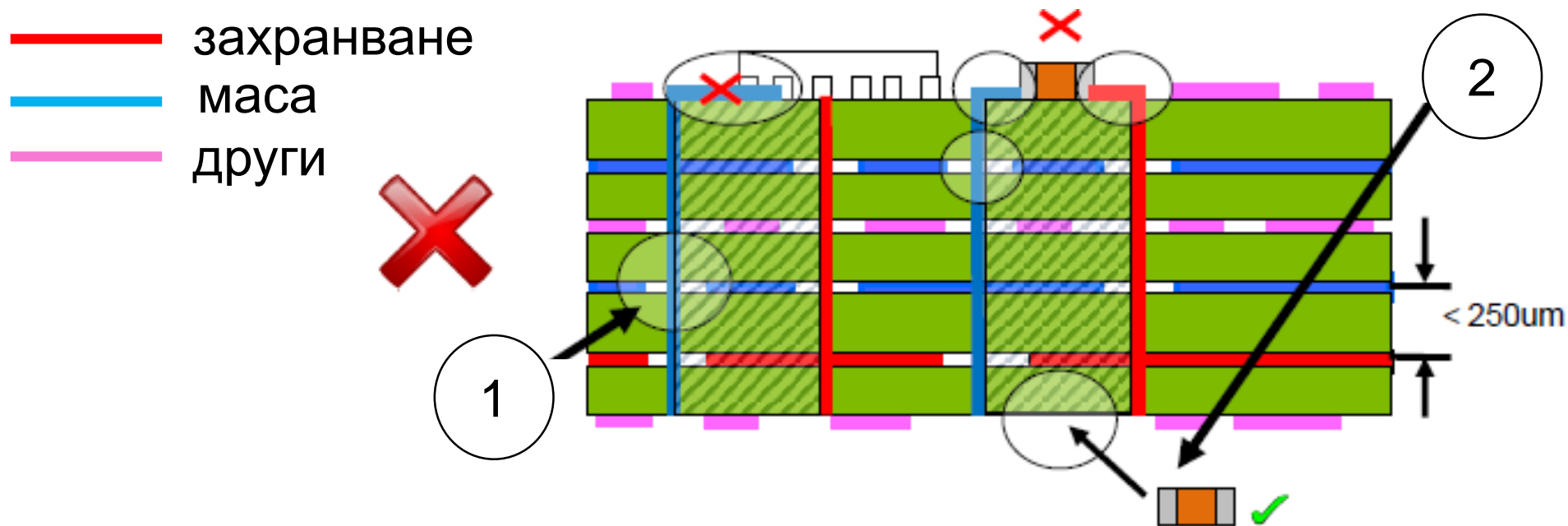


Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-малко от 250um



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и

разстояние между слоевете на платката по-малко от 250 μ m

1) Площта на затворения контур трябва да се минимизира и връзките трябва да бъдат направени на слоевете за маса, което да доведе до образуването на капацитет между захранващите слоеве.

2) Кондензаторът трябва да бъде поставен на страната на платката, която е най-близо и до двете равнини – на захранването и на масата.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-малко от 250um

1) В първите няколко наносекунди на превключването на интегралната схема по-голямата част от тока се консумира от капацитета, образуван от слоевете на захранването и масата. **Затова да се свържат изводите PWR и GND на микроконтролера към двата слоя директно с два проходни отвора**, разположени близо един до друг.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и разстояние между слоевете на платката по-малко от 250um

2) **Физическото разположение на развързващите кондензатори не е критично.** Поставят се гъвкаво в областта на интегралната схема.

3) Развързващите кондензатори презареждат капацитета, образуван от слоевете. **Затова да се свързват директно към съответните слоеве с два проходни отвора, разположени близо един до друг.**

Електромагнитна съвместимост

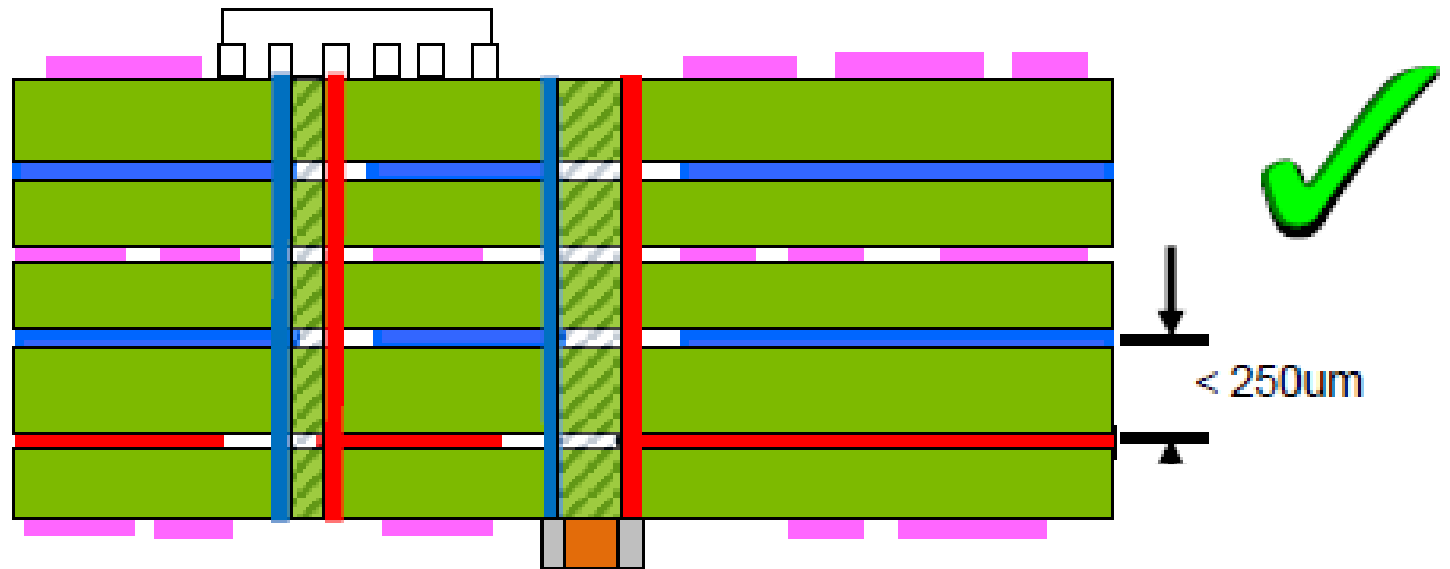
Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-малко от 250um

4) Всички кондензатори

да се монтират от
страната на платката,
която е най-близо и до
двете равнини – на
захранването и на масата.



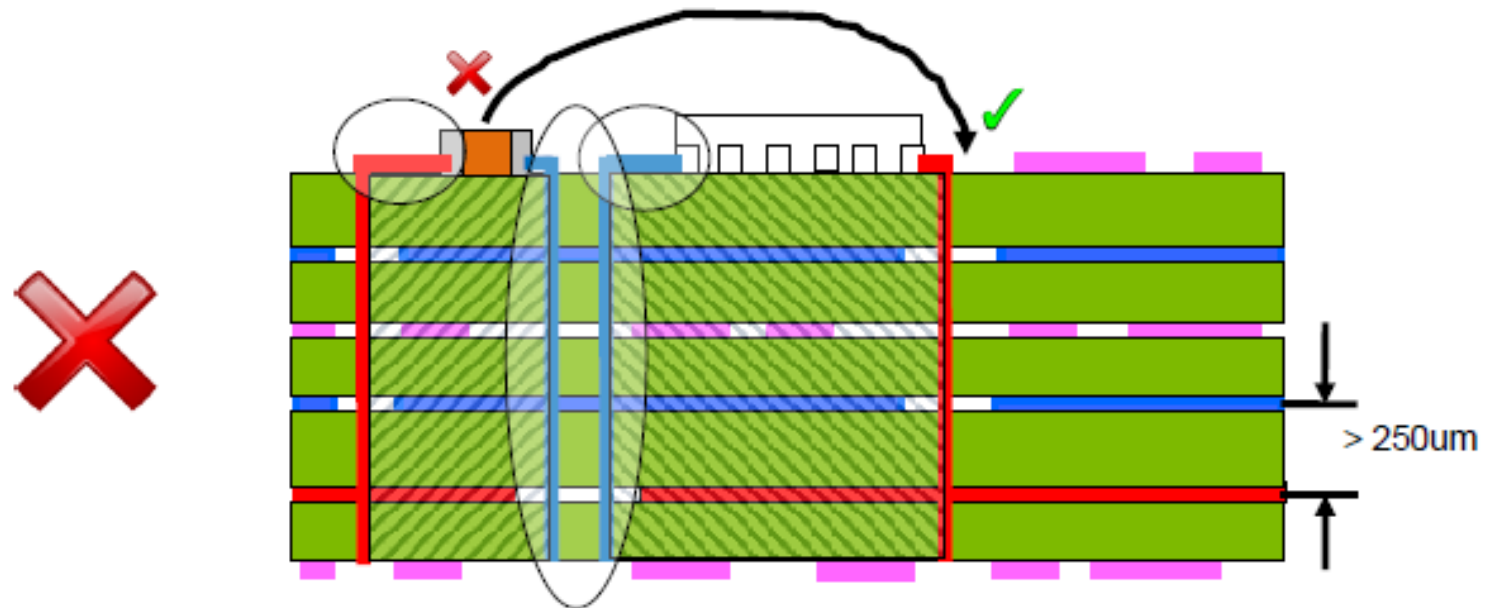
Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-голямо от 250um

- захранване
- маса
- други



Електромагнитна съвместимост

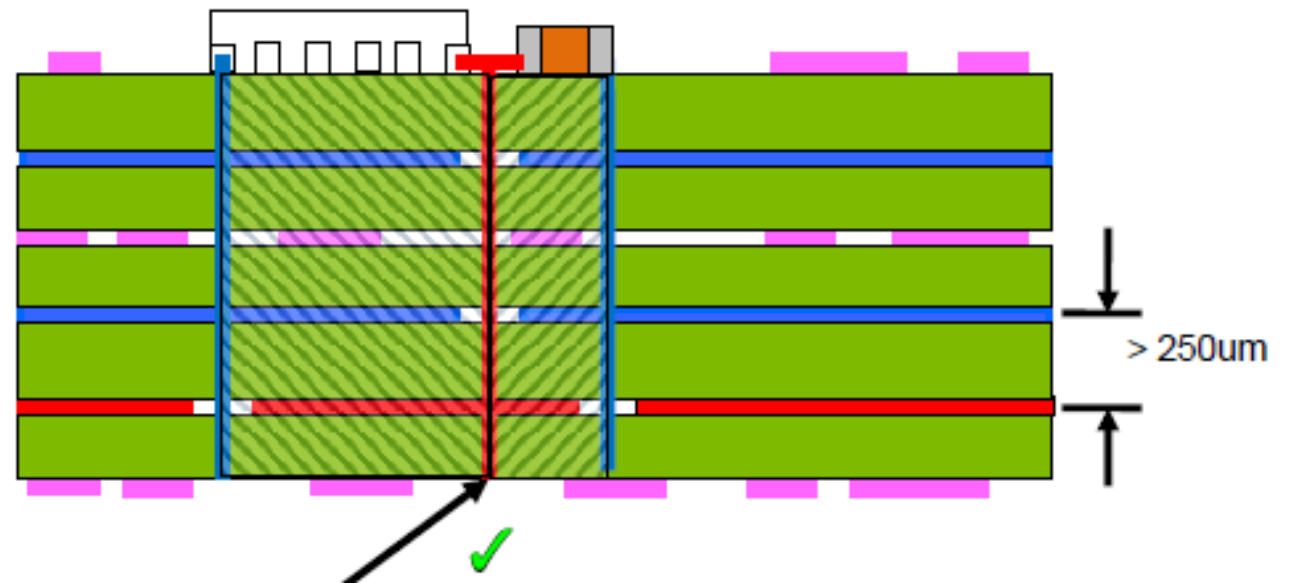
Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-голямо от 250um

- захранване
- маса
- други

Общ проходен отвор за
използване до най-далечния
слой от интегралната схема



Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-голямо от 250um

1) **Разположението на развързващите кондензатори е критично.**

Да се постави близо до извода на активното устройство, който ще се свърже с най-далечния слой.

2) Оптимално е, ако проходните отвори към слоя могат да бъдат общи за кондензатора и интегралната схема.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки и
разстояние между слоевете на платката по-голямо от 250um

3) Индуктивността на връзката между интегралната схема и развързващия кондензатор е критична. **Да се ориентира кондензатора така, че изводът, свързан към най-далечния слой, да е близо до съответния активен извод на устройството.**

4) Да се избягват дългите писти. Индуктивността е по-ниска, като се използва директно проходен отвор.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки



1) Захранващите слоеве не трябва да съдържат сигнални писти.

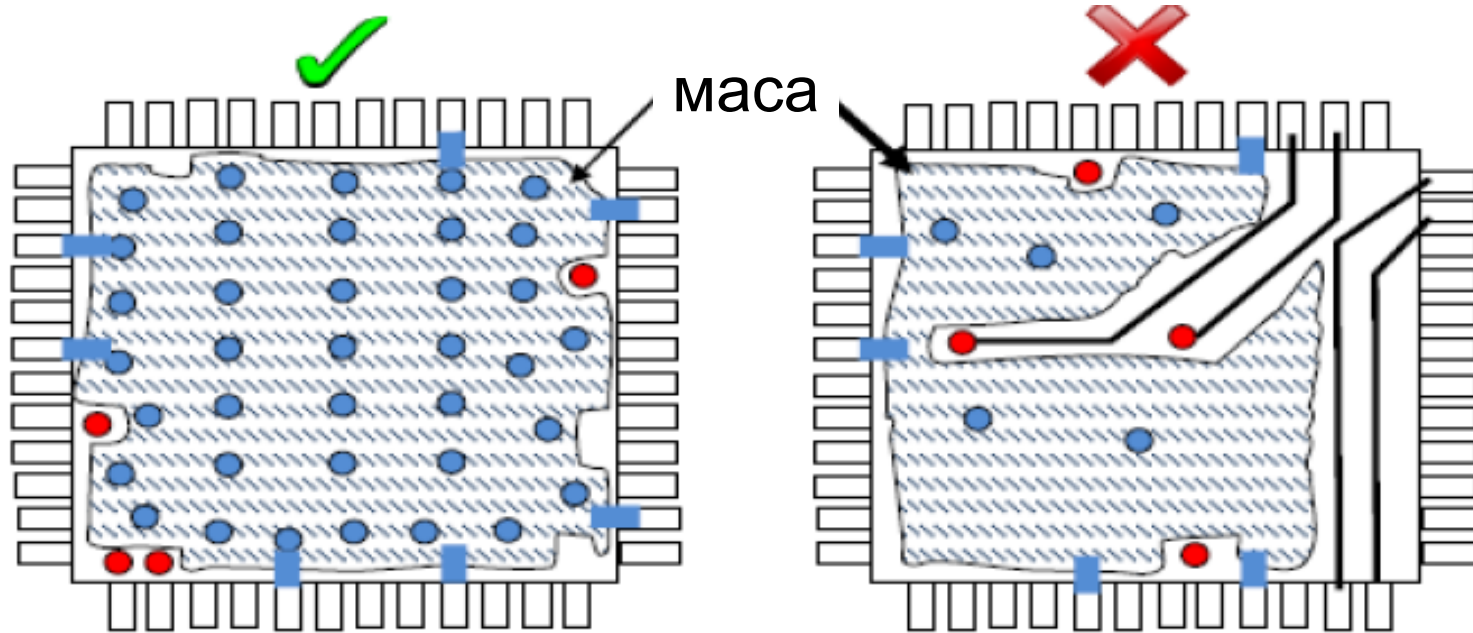
2) Слоеве със сигнални писти могат да съдържат контури, свързани със захранването и масата.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки



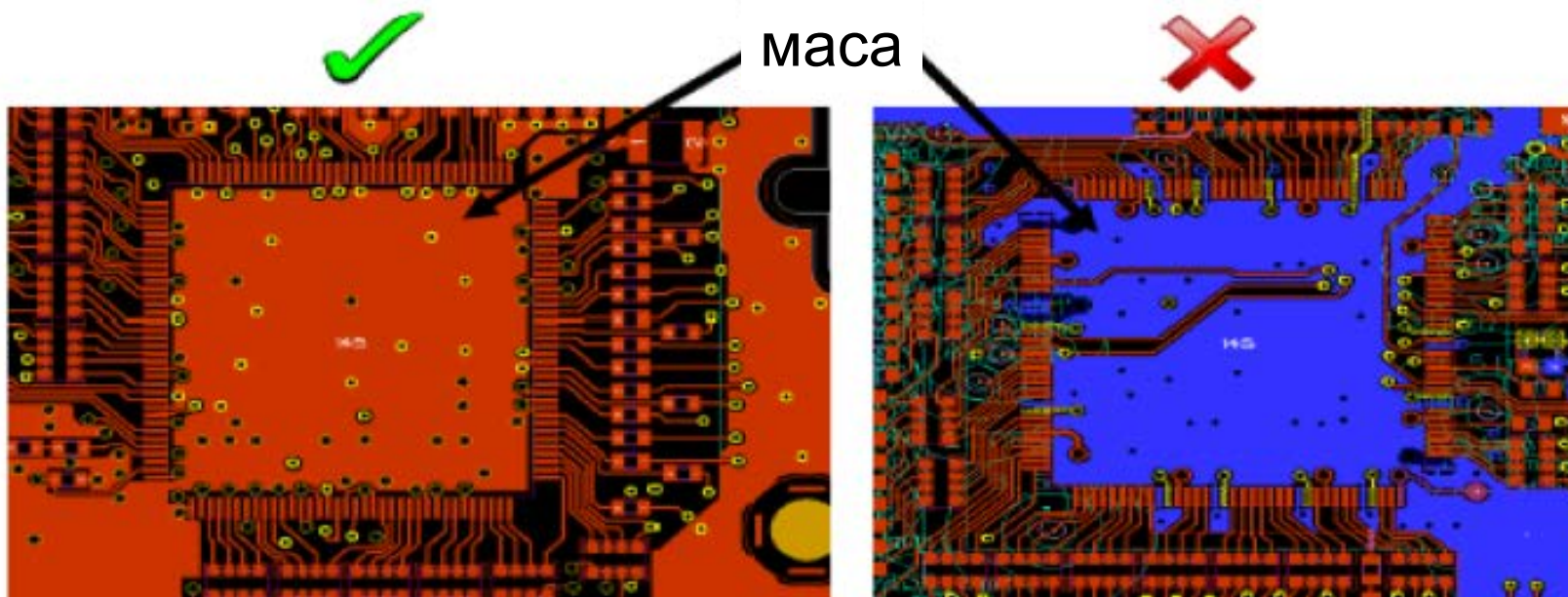
Да се осигури максимално запълване с маса под интегралните схеми, които работят с висока тактова честота.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Развързване на захранването при многослойни печатни платки



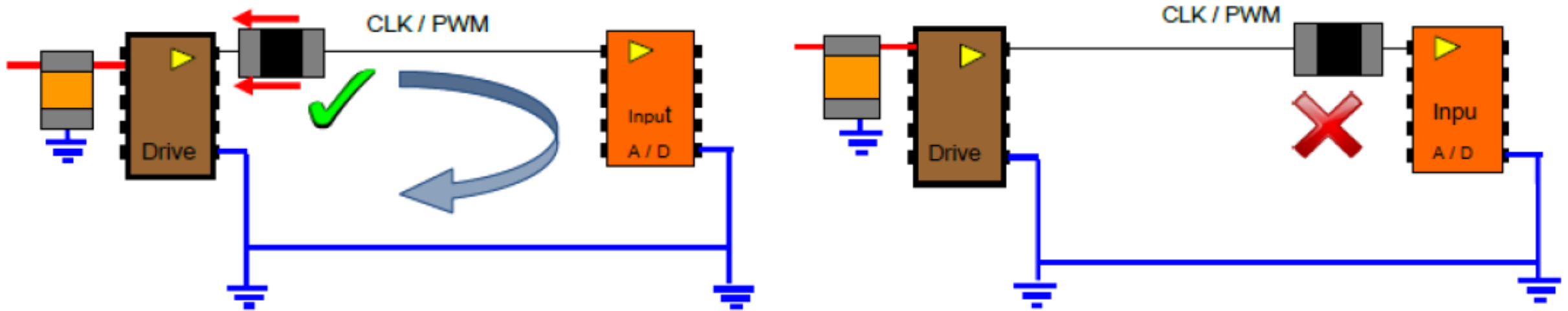
Да се избягва преминаването на сигнални писти през запълнените с маса контури.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Разполагане на токоограничителните елементи



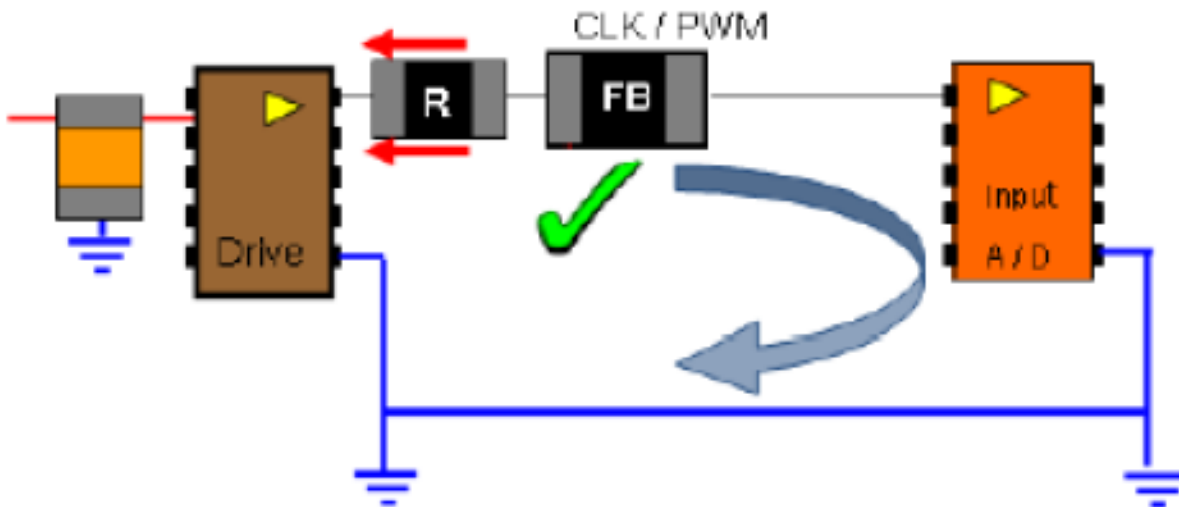
Токоограничителните елементи да се поставят възможно най-близо до предавателя на сигнала, а не до приемника.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Разполагане на индуктивните елементи



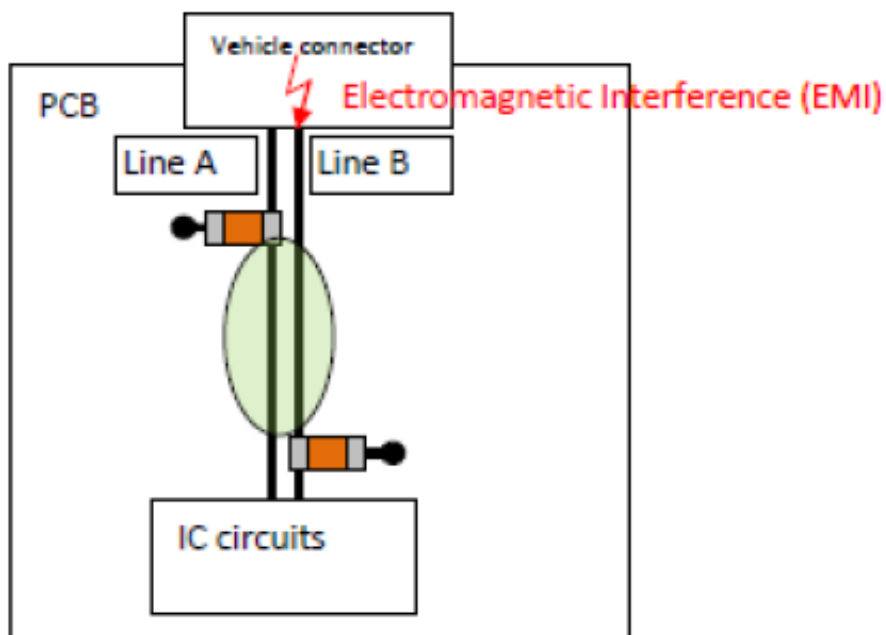
Феритните шумопотискащи индуктивности трябва да се поставят възможно най-близо до източника на шум, за да се намалят нивата на шума, които могат да причинят смущения на близките схеми.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Влияние между сигналите



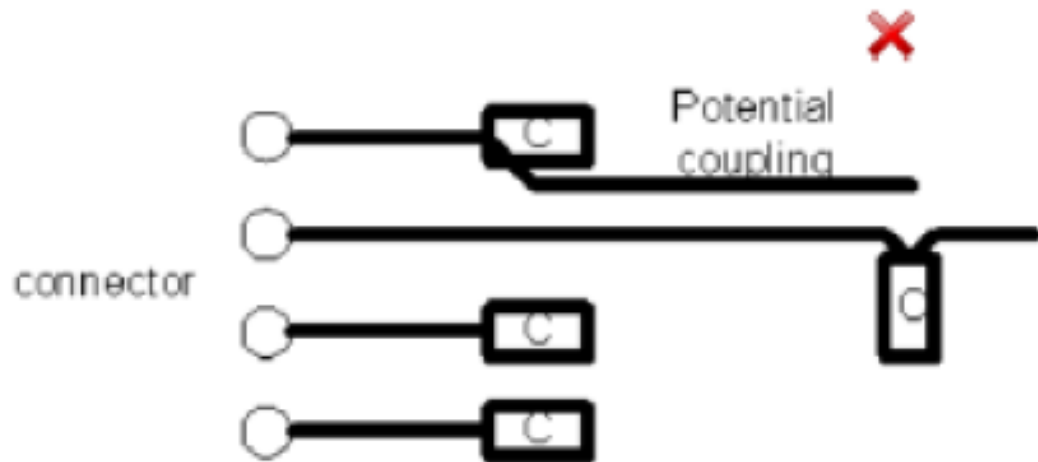
Да не се допуска опроводяването на паралелни писти, по които се предават филтрирани и нефилтрирани сигнали.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Влияние между сигналите



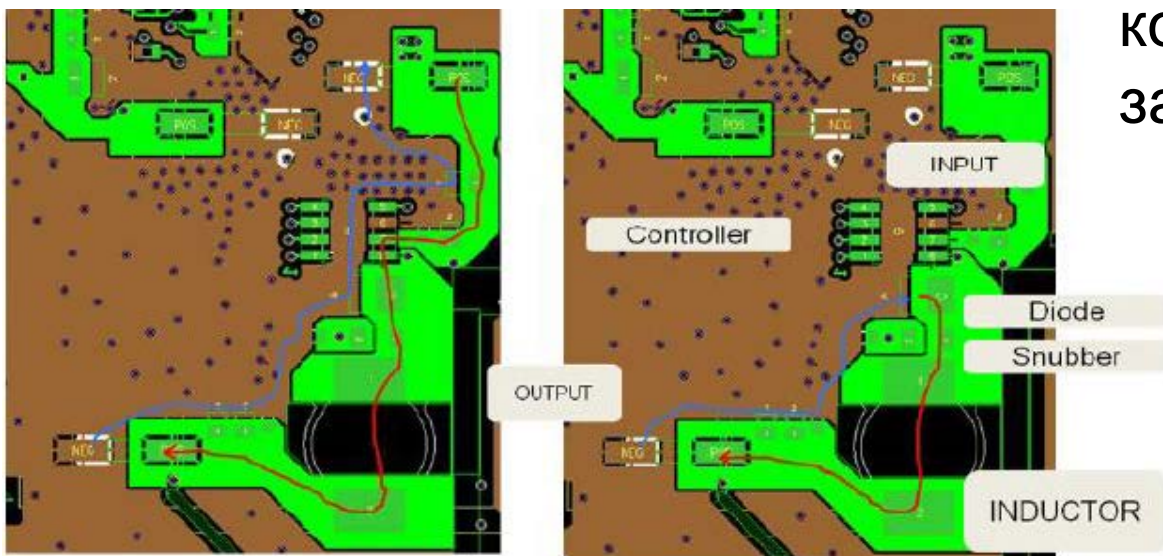
- Филтърните елементи да се поставят в близост до съединителя.
- Да не се опроводяват паралелни писти със свързани филтърни елементи и без свързани филтърни елементи.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

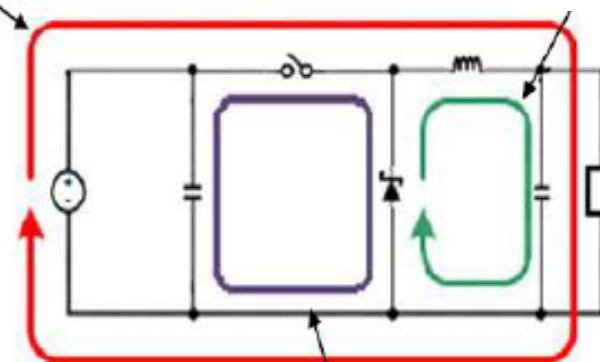
Съображения при проектирането

Разположение на елементите при понижаващ (Buck) преобразувател



контур при затворен ключ

контур при отворен ключ



контур с висок di/dt

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Разположение на елементите при понижаващ (Buck) преобразувател

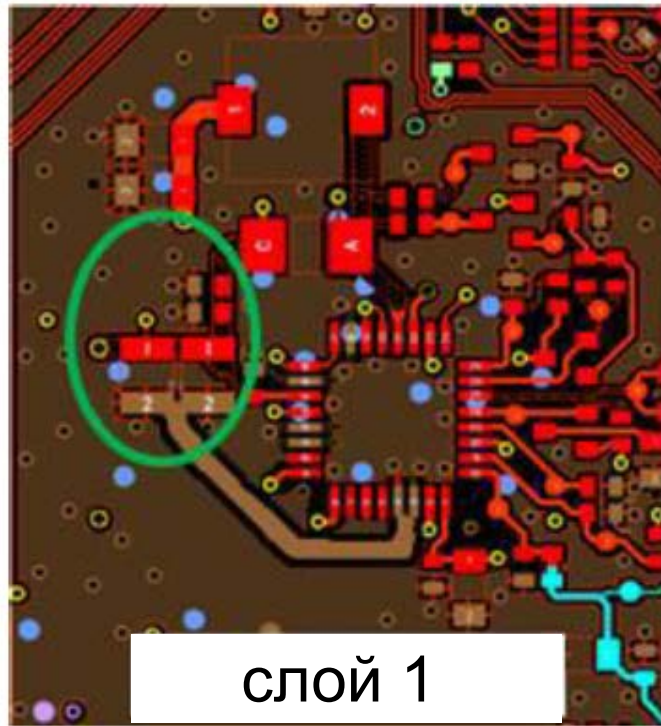
- Площта между дрейна на FET, диода и индуктора да бъде толкова малка, колкото е необходимо от термична гледна точка.
- Зоните на входния и изходния контур да бъдат възможно най-малки.
- Да има непрекъсната връзка на масата от входа през регулатора или FET транзистора към изхода.
- Да се поставят диод, демфер, FET, контролер, регулатор и развързващите кондензатори от една и съща страна на платката, без проходни отвори.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

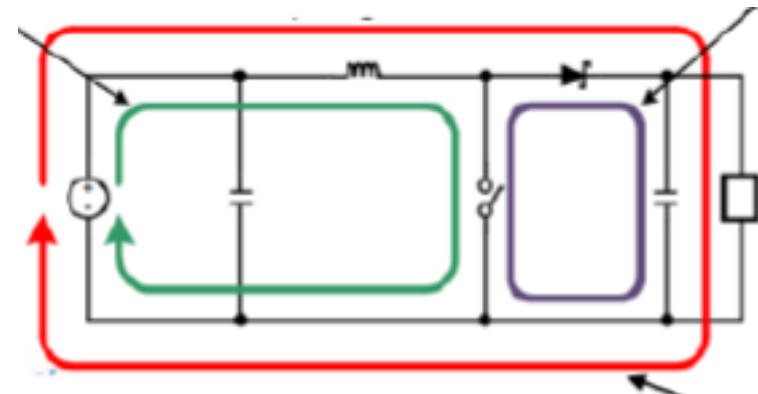
Съображения при проектирането

Разположение на елементите при повишаващ (Boost) преобразувател



контур при
затворен ключ

контур с
висок di/dt



контур при
отворен ключ

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Разположение на елементите при повишаващ (Boost) преобразувател

Пистата с висок di/dt да бъде максимално къса.

- Електронните компоненти, включени към нея да са възможно най-близо.
- Да се свърже сорсът на FET транзистора от нисковолтовата страна първо към отрицателния извод на изходния кондензатор и след това към контура на масата.
- Да се създаде голям непрекъснат контур на масата под ключовия преобразувател.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

1. Захранващите шини трябва да имат минимална индуктивност. Те трябва да се изпълняват като отделни слоеве при многослойните платки или като мрежа при двуслойните, така че захранването да постъпва към схемите поне от 2-3 места. Захранващите шини трябва да са с максимално възможна ширина. В много от системите за проектиране на печатни платки са предвидени функции за “запълване с мед”. Това означава, че цели участъци от медното фолио остават на платката. Понякога те се използват и за екраниране и охлаждане.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

2. В непосредствена близост до изводите за захранване на всяка от интегралните схеми се поставят филтриращи кондензатори с малка индуктивност(керамични), като шините между кондензатора и захранващите изводи са възможно най-къси и широки – също за малка индуктивност. При устройства с по-малки импулсни токове и широки захранващи писти се допуска да се използва един кондензатор на 2-3 схеми. Собствената индуктивност на кондензатора е много важна.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

3. На всяка платка се препоръчва да има и кондензатор с голям капацитет за по-нискочестотните смущения (електролитен). Добре е този кондензатор да е от тип с ниско ESR (Equivalent series resistance). Не по-маловажно е как захранващите шини “влизат” в платката. Ако консумацията е по-голяма от 500mA е по-добре връзката с другите платки да е през повече пера на свързващия куплунг.

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

4. Сигналните писти да са с минимална дължина. Затова се препоръчва логическите елементи да се разпределят по корпуси, така че да няма дълги връзки. В някои случаи част от логическите елементи в един корпус може да останат неизползвани, да се получи излишък, за да не се налага “разхождане” на сигнала от единия край на платката до другия. **В този смисъл устройствата са по-шумоустойчиви когато са изградени със схеми с по-голяма степен на интеграция.**

Електромагнитна съвместимост

Проектиране на печатни платки

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

5. Вземат се специални мерки при проектиране на кварцовите (или други) генераторни схеми – обикновено се екранират участъците от платката около генератора, като кварцовият резонатор се разполага в непосредствена близост до генериращата схема.

За да се избегне “състезание на сигналите” се предвиждат изкуствено създадени закъснителни линии посредством формиране на свързващата пътека – меандър. Тези практики са за честоти, по-високи от 100-200 MHz.

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

Освен апаратни трябва да се приложат и програмни средства когато устройството се управлява от контролери. Чрез не сложен защитен софтуер устойчивостта на устройството може да се повиши значително. Това не е скъп подход и, ако е приложен правилно може да спести много средства за апаратно осигуряване (хардуер) и сложна печатна платка.

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

Някои полезни подходи са:

1. Обновяване на входно/изходните портове и по-важните регистри. С това се намалява влиянието на смущенията, които проникват през изводите на интегралната схема. Периодичното обновяване на регистрите за данни и за посока на данните ще намали опасността от неизправност.

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

Някои полезни подходи са:

2. Периодично четене на входовете. Показаната подпрограма е за CPU HC05 където след изпълнение на инструкциите BRSET и BRCLR флаг CARRY съдържа стойността на прочетения вход. Чете се 3 пъти един и същи вход и се взема решение за стойността му.

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

not_a_one: BRSET RX, PortA, not_a_zero

BRSET RX, PortA, not_a_zero

BRSET RX, PortA, not_a_zero

RTS * резултатът е 0

not_a_zero: BRCLR RX, PortA, not_a_one

BRCLR RX, PortA, not_a_one

BRCLR RX, PortA, not_a_one

RTS * резултатът е 1

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

Проверката може да се извършва и с използване на брояч на операциите за четене, който се увеличава след прочитане на 1. След това се прави проверка с предварително избрано число. Ако резултатът е по-голямо число се приема 1, а при по-малко – 0.

Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

```
Read_RX_pin:  CLRA
               LDX #$06
Read_again:   BRCLR RX, PortA, no_inc
               INCA
no_inc:       DEX
               BNE Read_again
               RTS
```


Електромагнитна съвместимост

Съображения при проектирането

Основни правила при конструиране на цифрови устройства

```
*****main*****  
JSR Read_RX_pin  
CMPA #$03  
BLO it_was_zero  
BHI it_was_one
```