



ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В СИЛОВИТЕ ТРАНЗИСТОРНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНИ УСТРОЙСТВА

доц. д-р Даниела Марева

Бургаски свободен университет, ЦИТН, 8000 Бургас, България

Абстракт: Електромагнитната съвместимост (ЕМС) е важен фактор в силовите преобразователни устройства. Представява способността тези системи и устройства да функционират в една обща електромагнитна среда. Напоследък силовата електроника е доминиращ фактор за влошаването на електромагнитната среда, причинявайки влошаване на качеството на мрежовата мощност и нарастващо ниво на проведени ЕМІ. Неспазването на изискванията и стандартите може да причини нежелани ефекти, най-вече като електромагнитни смущения (ЕМІ) и дори дефектиране на отделни възли от схемата, по която е реализирано устройството. Оценката на електромагнитната съвместимост е важна както от техническа, така и от правна гледна точка. Целта на настоящата статия е да се направи преглед на основите на електромагнитната съвместимост в силовата електроника, включително терминологията и категориите електромагнитна съвместимост, разпространението и генерирането на нискочестотни и високочестотни смущения.

Ключови думи: Електромагнитната съвместимост (ЕМС), силовите транзисторни преобразователи, стратегии.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN POWER TRANSISTOR CONVERSION DEVICES

Assoc. Prof. Daniela Mareva, PhD

Burgas Free University, Department CITN, 8000 Burgas, Bulgaria

e-mail: d_mareva@abv.bg

Abstract: Electromagnetic compatibility (EMC) is an important factor in power converter devices. It represents the ability of these systems and devices to function in a common electromagnetic environment. Recently, power electronics has become a dominant factor in the degradation of the electromagnetic environment, causing a deterioration of the network power quality and an increasing level of conducted EMI. Failure to comply with the requirements and standards can cause unwanted effects, especially such as electromagnetic interference (EMI) and even defecting of individual nodes of the circuit according to which the device is implemented. The assessment of electromagnetic compatibility is important from both a technical and a legal point of view. The purpose of this article is to review the basics of electromagnetic compatibility in power electronics, including the terminology and categories of electromagnetic compatibility, the propagation and generation of low-frequency and high-frequency disturbances.

Key words: Electromagnetic compatibility (EMC), power transistor converters, strategies.

Електромагнитната съвместимост (ЕМС) е характеристика на електрическото и електронното оборудване, която му позволява да работи по предназначение в присъствието на други електрически и електронни оборудвания и да не пречи на другите в обща заобикаляща среда от електромагнитно влияние. ЕМІ може да попречи на съседни компоненти от електронно оборудване да работят. Електронното устройство трябва да вземе в предвид ЕМС от самото начало на проектирането си. Внедряват се и се използват различни техники на проектиране на ЕМС в една цялостната концепция на крайния продукт. Така трябва да се осигури оптимална ефективност на електромагнитната съвместимост. Това включва проектиране на вериги за минимално излъчване, електромагнитни филтри, разделяне на отделни вериги и заземяване.

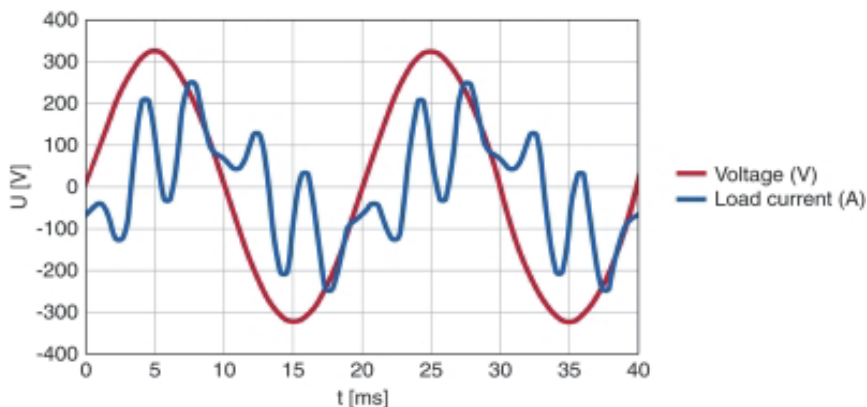
Цялостното ЕМС е съвкупност два компонента:

- ЕМІ емисиите е самогенериране на нежелана електромагнитна енергия в заобикалящите вериги и инсталации. Трябва да се намали под определените нива, за да се гарантира нулево прекъсване и дефектиране при работа на устройствата.

- Чувствителността на едно електронно устройство към ЕМІ е начинът, по който то реагира на тази нежелана електромагнитна енергия. Избраната принципа схема осигурява нивото на устойчивост срещу фактори на заобикалящата го среда. ЕМС е част от всеки електронен проект, особено в силовата електроника и стандартите се прилагат повсеместно.

При проектирането на електронни вериги е важно предварително да се вземат предпазни мерки, за да се гарантира, че изискванията за ефективност на електромагнитната съвместимост могат да бъдат изпълнени. Коригирането на проблеми с ЕМС, след като процесът на проектиране и експериментиране е приключил, е по-трудно и оскъпява процеса.

Силовите електронни преобразователни устройства се използват широко в съвременните устройства и работят с големи мощности. Те са реализирани с генератори, инвертори, резонансни инвертори, преобразуватели и др. на базата на тиристорни и транзисторни преобразуватели, консумиращи нелинеен ток от мрежата. Това предизвиква изкривяване на синусоидата на захранващото напрежение. То от своя страна се използва за създаване на електромагнитно поле в трансформатори, двигатели и индуктори.



Фиг. 1. Несинусоидален режим на работа

Несинусоидалният режим на работа предизвиква неблагоприятни последици в силовото електрическо оборудване, управлението му, автоматиката, която използва и комуникацията му със съседни устройства. Той създава допълнителни загуби на

мощност в самите устройства, причинени от по-високите хармоници на тока и превръщащи се в опасност от дефектиране на елементи, от които са изградени, термични, токови и напреженови претоварвания.

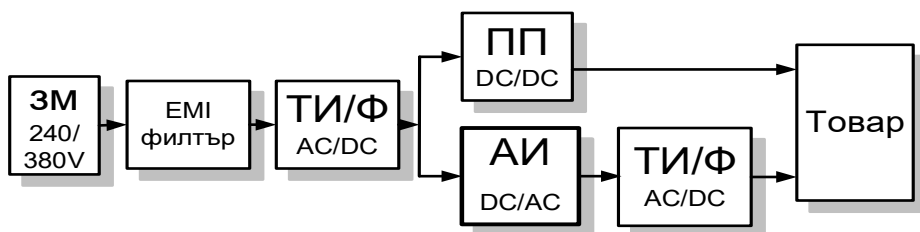
Анализът на такива електромагнитни проблеми показва, че несинусоидалните режими на работа в самите системи за захранване, причинени от мощни нелинейни управляеми консуматори, предизвикват значителни отрицателни последици. Появява се излишна необходимост от допълнителна мощност и загуби на електроенергия в полупроводниковите елементи на устройствата.

Тъй като основните източници на електромагнитни смущения (ЕМИ) в силовата електроника са превключващите преобразуватели, произвеждащи емисии от смущаващи сигнали.

Смущенията могат да бъдат класифицирани в два основни типа според начините им на разпространение [2]:

- 1) смущения по проводниците, които се разпространяват по електрическите кабели и проводници;
- 2) излъчени смущения, които циркулират като електромагнитно поле в пространството.

В областта на силовата електроника веригата за преобразуване обикновено се състои от следните блокове (фиг. 2).

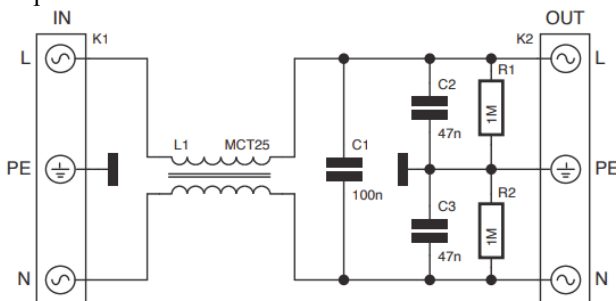


Фиг. 2. Блокова схема на мощен многостъпален преобразувател

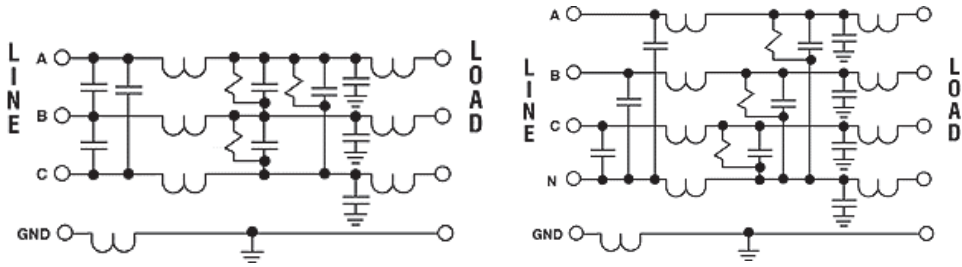
Основните модули задължително включват токоизправител, преобразувател с превключване, импулсно захранване или инвертор за мощни управлявани устройства.

Оценката на ЕМС се извършва на различни нива, включително електропроводи, токоизправители, преобразуватели и техните системи за управление, също филтри и товари [2].

Като пример за защита на ЕМИ смущения се използват ЕМИ филтри в еднофазните и трифазните вериги.

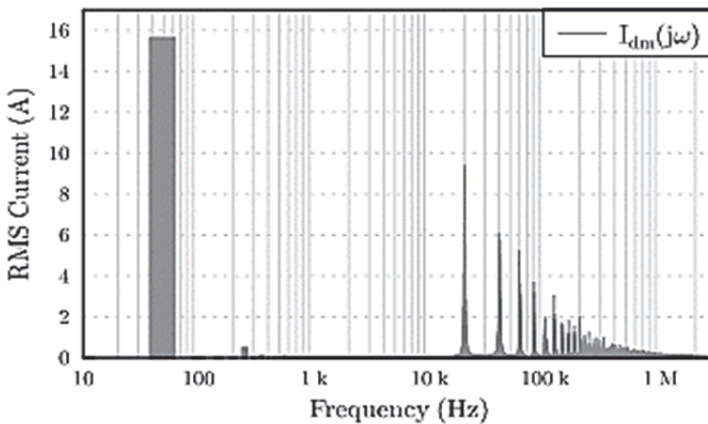


Фиг. 3. Еднофазен ЕМИ филтър



Фиг. 4. Две схеми на трифазен ЕМІ филтър

Най - общият вид на разпространение на промишлените смущения в спектъра са показани на следващата фигура (фиг. 5).



Фиг. 5. Графика на хармониците при несинусоидално захранване

Източниците на енергия за апаратите представляват мощни нелинейни кон- суматори на електрическата мрежа. В повечето от тях се прилагат тиристорни схеми за управление. Освен това такива източници, които са предимно еднофазни, при свързването им към трифазни мрежи, оказват отрицателно влияние върху захранва- нето. Също така предизвикват нарастване на коефициентите на асиметрия и несину- соидално напрежение. Влошаването на качеството на захранващото напрежение се отразява най-съществено като отклонението на големината на напрежението.

Решаването на проблема с осигуряването на електромагнитна съвместимост на мощното оборудване, е неотложен проблем и е възможно в две посоки [2]:

- прилагане на допълнителни активни филтърно-компенсиращи и балансиращи устройства. Така се намаляват загубите на мощност в електрическите мрежи и така осигурява симетрично натоварване и на трите фази.
- разработване и прилагане на мощни управляеми захранвания с корекция на фактора на мощността (PFC).

Друга посока за решаване на този проблем е актуализирането на преобразовател- ните системи. Има перспективи в развитието на силовата електроника и появата на мощни и бързодействащи силови превключватели, позволяващи превключване на високи товари.



Повечето проучвания за електромагнитна съвместимост, проведени в устройствата на превключвателя на захранването, обикновено са валидни за ниски честоти. При пълен анализ на проведените електромагнитни смущения това не е достатъчно. Според натоварването се прави оптимален избор на IGBT и MOSFET за превключване на големи мощности с най-малко смущения в честотния диапазон от 150kHz до 30MHz. Съобразява се влиянието на стойността на товара върху превключването при преобразувателите и генерирането на шумове. [3]

Предназначение. Анализът на принципната възможност за избор на превключващо устройство с подходящо захранване, позволява да се повиши надеждността на работата на целия механизъм и значително опростява проектирането.

Методи. Извършват се експерименти, както при ниски, така и при високи честоти на работа на преобразувателите. След това се прави сравнение за електромагнитни смущения, предавани по проводниците (общ режим и диференциален режим), генерирани от IGBT и MOSFET за различни натоварвания. Прави се прогнозиране на анализ на пренапрежението на терминала и проблеми с проведените електромагнитни смущения.

Практическа стойност. Основният метод за установяване на източник на електромагнитни смущения по проводниците на превключващите устройства се извършва на основата подбор на различни IGBT и MOSFET в зависимост от резистивния товар. [3]

Ключовият преобразувател в силовата електроника се работи в две допълващи се фази: превключване и съхранение на енергия. Превключването се постига с помощта на силови ключове на основата на полупроводникови компоненти. Има ключове с контролирано превключване на основата на активни полупроводникови елементи - транзистори MOSFET, IGBT, които изискват външно управление, и други с неуправляемо превключване – диоди, Шотки диоди. Съхранението на самата енергия става в пасивни реактивни компоненти като кондензатори и индуктори. Тези две фази се интегрират и диктуват технологиите за преобразуване на енергия. Мощните транзистори са основният източник на ЕМИ и ЕМС проблеми в енергийното оборудване. Натоварването определя електрическите характеристики на импулсния превключвател и основните параметри са: номинална мощност, ток и напрежение. Важно е да се избере такъв вид превключвател, чиито характеристики съответстват на товара. [3]

ЕМИ-ЕМС се прогнозира в общ режим на работа и диференциален режим на работа. Проектирането става на основата на високочестотни силови транзистори – MOSFET и IGBT, използвани в приложения с висока честота на превключване – 150kHz до 30MHz и висока мощност. [3]

Разликата между използването на IGBT и MOSFET транзистори [3] е:

- IGBT има тенденция да има по-плавно превключване, което води до появяване на по-малко високи хармоници и по-малко електромагнитни смущения (ЕМИ) по време на превключване. Това може да бъде предимство по отношение на електромагнитната съвместимост, тъй като по-плавните преходи на тока намаляват емисиите на ЕМИ. Обратно, MOSFET, особено когато се използват във високоскоростни превключващи приложения, могат да генерират по-високи пикове на ЕМИ поради тяхното бързо превключване в нискочестотния и високочестотния диапазон на работа.

- MOSFET е по-подходящ за бързо превключване и нискочестотни приложения, докато IGBT е по-подходящ за нискочестотния и високочестотния диапазон. Разликата в поведението между IGBT и MOSFET е свързана с техните характеристики на

превключване. MOSFET обикновено имат по-кратки времена на превключване, което ги прави по-бързи при реагиране на промени в натоварването и напрежението. Обратно, IGBT може да показва по-дълги закъснения при превключване.

Динамичните (променящи се) чисто активни (резистивни) натоварвания с различни стойности влияят на нивата на смущения и наблюдаваните закъснения при превключване. [3]

Изводи:

1. Разглеждането на ЕМІ, генерирани от MOSFET и IGBT се прави по време на първоначалния етап на проектиране.

2. Всички силови транзистори MOSFET и IGBT са източници на електромагнитно замърсяване, поради паразитни елементи в самите тях, връщани в самите захранвания. Като повечето електрически оборудвания днес, те трябва да отговарят на стандартите за ЕМС.

3. Инсталирането на PF корекция на входа на преобразувателя позволява да се осигури потребление на синусоидални токове, но леко намалява техническите и икономическите характеристики на източника на захранване във връзка с увеличаване брой контролирани транзисторни превключватели на мощност.

4. Електромагнитната съвместимост (ЕМС) се очертава като критично изискване за проектиране, особено при импулсните захранвания. Прилаганите стандарти гарантират, че дадена електронна система може да работи безопасно в своята среда, като не причинява непоносими електромагнитни смущения на съседното оборудване.

Литература:

1. S. Bechekir, A. Zeghoudi, D. Ould-Abdeslam, M. Brahami, H. Slimani, A. Bendaoud „Development of a Boost-Inverter Converter under Electromagnetic Compatibility Stress Equipping a Photovoltaic Generator“ - Industrial Electronics 14 Electrical Engineering & Electromechanics, 2023, no. 5 UDC 621.314
2. E A Gunin „Electromagnetic compatibility of receivers in the power supply system with induction heating units“ 2019 Journal of Physics
3. M.E. Lahlaci, M. Miloudi, H. Miloudi „Experimental electromagnetic compatibility of conducted electromagnetic interferences from an IGBT and a MOSFET in the power supply“ Industrial Electronics - Electrical Engineering & Electromechanics, 2024, no. 3
4. Shotaro Takahashi, Keiji, Hideki Ayano, Satoshi Ogasawara, Toshihisa Shimizu „Review of Modeling and Suppression Techniques for Electromagnetic Interference in Power Conversion Systems“ IEEE Journal of Industry Applications Vol.11 No.1 pp.7–19 DOI: 10.1541/ieejia.21006800
5. Sara Ghalem, Abdelber Bendaoud, Houcine Miloudi, Mohamed Hamza Bermaki, Mohamed Miloudi, Abdelhakim Zeghoudi „Prediction of Conducted Disturbances Generated by a DC/DC Converter“ The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM) ISSN: 2602-3199
6. S.K. Podnebennaya, V.V. Burlaka and S.V. Gulakov, “On the problem of providing electromagnetic compatibility of power sources of resistance welding machines with electric mains” The Paton Welding Journal, No. 12, 2016 ISSN 0957-798X