

TELEKOMUNIKAZIO TEKNOLOGIAREN
INGENIARITZAKO GRADUA
GRADU AMAIERAKO LANA

L.I.S.N. SAREAK:

***SOFTWARE BIDEZKO SIMULAZIOA,
NEURKETETAN OINARRITUTAKO
SINTESIA ETA ZIURGABETASUNAREN
KALKULUA.***

Ikaslea: Gallarreta, Canteli, Alexander

Zuzendaria: Arrinda, Sanzberro, Amaia

Ikasturtea: 2018-2019

Data: Bilbon, 2019ko uztailaren 19an

LABURPENA

Azken hamarkadetan, sare elektrikoa erabiliz komunikazioak ahalbidetzen dituzten teknologiak sortu eta garatu egin dira, hots, PLC (*Power Line Communications*) komunikazioak. Transmisio hauek, ingurune oso aldakor eta ezegonkorrean ematen dira, sare elektrikoa, ezaugarri hauek komunikazio kanal batentzako erabat desegokiak izanik. Egoera honek ezinbestekoa egiten du komunikazio kanal berri honen ikerketa eta karakterizazioa, baita ingurune honetan gailu elektriko eta elektronikoek sortzen dituzten emisio elektromagnetikoen neurketa ere. Lan honen helburua software bidezko simulazioen bitartez LISN (*Line Impedance Stabilization Network*, ingelesez) baten egoera simulatzea izango da; egonkortze-sare hau EUTn (*Equipment Under Test*, proban dagoen gailua) emisio elektrikoak neurtzerakoan, zein gailuen inpedantziak neurtzerakoan, duen konportamendua ebaluatzeko. Honekin guztiarekin, LISNaren neurketen fidagarritasuna eta ziurgabetasun kontribuzioa kuantifikatzen ahalegingo da. Beste alde batetik, LISN modelo berrien eraikuntzarako eskema elektriko berri bat proposatuko da, honen ezaugarriak gaur egungo sare elektrikoaren hurbilagoko antzekotasuna izan dezaten.

Hitz gakoak: LISN, emisio gidatuak, PLC, EMC

En las últimas décadas, se han desarrollado tecnologías que hacen posible la comunicación entre dispositivos a través de la red eléctrica, conocidas como PLC (*Power Line Communications*). Este medio de comunicación es muy cambiante e inestable, unas características nada recomendables para un canal de comunicación. Este hecho hace necesario el estudio y caracterización, tanto de este nuevo canal de comunicación, como de las emisiones radioeléctricas que inyectan los dispositivos eléctricos y electrónicos en el mencionado medio. El objetivo de este trabajo es tratar de simular, mediante software, las condiciones de una LISN (*Line Impedance Stabilization Network*, en inglés) y caracterizar el comportamiento de esta red de estabilización cuando se emplea en la medida de emisiones eléctricas generadas por los EUT (*Equipment Under Test*, equipo sometido a ensayo), y la impedancia de salida que presentan estos últimos. Con todo ello, se intentará cuantificar la fiabilidad y la incertidumbre de las mediciones realizadas con la LISN. Por otro lado, se propondrá un nuevo esquema eléctrico para la construcción de nuevos modelos de LISN, de manera que sus características eléctricas sean más parecidas a las de la red eléctrica actual.

Palabras clave: LISN, emisiones conducidas, PLC, EMC

In the last decades, technologies that make possible communication between devices through the electrical network have been developed; they are known as PLC (Power Line Communications). This new communication channel, the low voltage network, is very changeable and unstable, features that are not recommended. These facts make necessary the study and characterization of this new communication channel, and also, the radioelectric emissions that are injected by electrical and electronic devices in the aforementioned medium. The aim of this work, on the one hand, is to try to simulate, by software, the conditions of a LISN (Line Impedance Stabilization Network), to characterize the behavior of this device when it is used to measure electrical emissions generated by the EUT (Equipment Under Test) and the output impedance presented by the devices. With all these simulations, this project is going to try to quantify the fidelity and the uncertainty of the measurements made with the LISN. On the other hand, a new electrical scheme will be proposed for the construction of new LISN models, in which their electrical characteristics are more similar to the ones that the current electrical grid has.

Keywords: LISN, conducted emissions, PLC, EMC

AURKIBIDEA

LABURPENA	i
AURKIBIDEA	iii
TAULEN ZERRENDA	vii
IRUDIEN ZERRENDA	ix
GRAFIKOEN ZERRENDA	xiii
AKRONIMOEN ZERRENDA	xvii
MEMORIA	1
1. SARRERA	1
2. TESTUINGURUA	3
2.1. LV sare elektrikoa	5
2.2. LISN: azalpena, ezaugarriak eta erabilera	6
2.3. EMC iragazkiak	9
3. LANAREN HELBURUAK ETA IRISMENA	11
3.1. Helburuak	11
3.2. Irismena	12
4. LANAK DAKARTZAN ONURAK	14
4.1. Onura teknikoak	14
4.2. Onura ekonomikoak	15
5. GAIAREN EGOERAREN AZTERKETA	16
5.1. LISNen inguruko araudia	16
5.1.1. LISN mota ezberdinak	18
5.2. Neurketen Artearen Egoera	23
5.2.1. M. A. O. Kharraz <i>et al.</i> [14]	23
5.2.2. A. S. de Beer <i>et al.</i> [15]	24
5.2.3. C. M. Tsui <i>et al.</i> [16]	26
6. AUKEREN ANALISIA	30
6.1. OrCAD PSpice [17]	30
6.2. ADS Keysight [18]	31

6.3.	Aukeren analisiaren eraginkortasun taula.....	31
6.4.	Hautatutako aukeraren arrazoiketa.....	32
7.	PROPOSATUTAKO IRTENBIDEAREN DESKRIBAPENA	33
7.1.	ADS bidezko simulazioak.....	34
7.1.1.	LISNaren karakterizazioa	34
7.1.2.	Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa.....	37
7.1.3.	LISNaren konportamendua emisioen neurketan.....	38
7.1.4.	EMC iragazki komertzialen karakterizazioa	40
7.1.4.1.	EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina	44
7.1.4.2.	EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina	45
7.2.	LISNaren sintesia	46
7.2.1.	LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa.....	46
7.2.2.	50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan.....	47
7.2.3.	LISN berriaren eskema elektronikoa	50
7.3.	LISNen ziurgabetasun kontribuzioa zehazteko eskarri digitalak.....	52
7.3.1.	LISN mota baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak	53
7.3.2.	LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak.....	56
8.	EMAITZEN DESKRIBAPENA	61
8.1.	ADS bidezko simulazioak.....	61
8.1.1.	LISNaren karakterizazioa	61
8.1.2.	Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa.....	62
8.1.3.	LISNaren konportamendua emisioen neurketan.....	63
8.1.4.	EMC iragazki komertzialen karakterizazioa	64
8.1.4.1.	EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina	64
8.1.4.2.	EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina	65
8.2.	LISNaren sintesia	66
8.2.1.	LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa.....	66
8.2.2.	50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan.....	66
8.2.3.	LISN berriaren eskema elektronikoa	66
8.3.	LISNen ziurgabetasun kontribuzioa zehazteko eskarri digitala	67
8.3.1.	LISN mota baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak	68

8.3.2.	LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak.....	69
LANERAKO ERABILITAKO METODOLOGIA		71
9.	EGINDAKOEN DESKRIBAPENA	71
10.	PROIEKTU PLANA ETA PLANIFIKAZIOA	73
11.	GANTT-EN DIAGRAMA	83
12.	ARRISKUEN ANALISIA	84
12.1.	Simulazioen parametroen konfigurazio okerra (1).....	84
12.2.	Datuen galera (2).....	85
12.3.	Prozesatze astunak (3).....	85
12.4.	Atzerapenak (4).....	85
12.5.	Arriskuen analisiaren laburpena	86
ALDERDI EKONOMIKOAK		87
13.	AURREKONTUAREN DESKRIBAPENA	87
13.1.	Barne orduak.....	87
13.2.	Amortizazioak.....	87
13.3.	Gastuak.....	88
13.4.	Diru-laguntzak	88
13.5.	Aurrekontua	88
ONDORIOAK		89
BIBLIOGRAFIA		91
I. ERANSKINA: ADS SIMULAZIOEN EMAITZAK.....		95
II. ERANSKINA: L.I.S.N.AREN SINTESIAREN EMAITZAK		119
III. ERANSKINA: L.I.S.N.EN ZIURGABETASUN KONTRIBUZIOAREN EUSKARRI DIGITALEN EMAITZAK.....		129
IV. ERANSKINA: ERABILTZAILEREN GIDA		141

TAULEN ZERRENDA

Taula 1: LISN mota ezberdinak eta lan frekuentzia banda.....	19
Taula 2: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoaren taula [2].....	21
Taula 3: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoaren taula [2].....	22
Taula 4: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 1 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoaren taula [2].....	22
Taula 5: Aukeren analisiaren eraginkortasun taula.....	32
Taula 6: LISNaren portuen eta ADSko eskematikoaren arteko erlazioa.....	35
Taula 7: Z_{EUT} EUTn inpedantzien balioekin	37
Taula 8: SCHURTER 5500.2044 iragazkiaren zirkuitu elektronikoaren osagaiak [20].....	41
Taula 9: SCHURTER 5500.2052 eta 5500.2055 iragazkien zirkuitu elektronikoaren osagaiak [21].....	41
Taula 10: SCHURTER 5500.2060 iragazkiaren zirkuitu elektronikoaren osagaiak [22] ...	42
Taula 11: TSRk egindako sarearen neurketen inpedantziaren modulua [10]	47
Taula 12: TSRk egindako sarearen neurketen inpedantziaren fasea [10].....	47
Taula 13: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoaren taula [2]	48
Taula 14: Sarearen inpedantziaren moduluen balioen datu gehigarriak.....	50
Taula 15: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ eta $50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$ LISN moten osagaiak.....	51
Taula 16: R&S®ENV216 Two-Line V-Network LISNaren Z_{an} inpedantzia [24].....	58
Taula 17: Bileren planifikazioaren taula	77
Taula 18: Zereginen planifikazioaren taula.....	82
Taula 19: Arriskuen analisiaren laburpen taula	86
Taula 20: Barne orduen taula.....	87
Taula 21: Amortizazioen taula	87
Taula 22: Gastuen taula.....	88
Taula 23: $Z_{\text{EUT_port}}$ portuaren sarrera-inpedantziaren simulazioen emaitzak eta UNE-EN 55016-1-2 arauak xedatutako balioak [2]	99
Taula 24: $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$ LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa maximoaren kalkulua eta R&S-en balioen konparaketa [23].....	133
Taula 25: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza.....	134
Taula 26: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza, tolerantzia %10 dela.....	135

IRUDIEN ZERRENDA

Irudia 1: LISN baten diagrama.....	1
Irudia 2: R&S®ENV216 Two-Line V-Network.....	2
Irudia 3: Landa eremuko sare elektrikoaren inpedantziaren neurketak [10].....	5
Irudia 4: Hiri eremuko sare elektrikoaren inpedantziaren neurketak [10].....	5
Irudia 5: Gailuen (EUT) emisioak neurtzeko era arrunta.....	6
Irudia 6: Gailuen (EUT) emisioak LISN baten bitartez neurtzeko era	6
Irudia 7: EMC probetan emisioak neurtzeko LISNaren muntaia [10].....	8
Irudia 8: EMC iragazki baten diagrama.....	9
Irudia 9: : SCHURTER 5500.2044 iragazkia.....	10
Irudia 10: SCHURTER 5500.2055 iragazkia	10
Irudia 11: LISN moten sailkapena [13].....	18
Irudia 12: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren eskema elektronikoa [2].....	21
Irudia 13: 50 Ω / 50 μH eta 50 Ω (50 μH + 1 Ω) LISN moten eskema elektronikoa [2].....	22
Irudia 14: M. A. O. Kharraz et al. proposatutako neurketen muntaia [14]	23
Irudia 15: LISNaren muntaiaren eskemak [15].....	25
Irudia 16: Modu diferentzialeko neurketak [15].....	25
Irudia 17: Modu komuneko neurketak [15].....	25
Irudia 18: Modu diferentzialeko neurketen emaitzak	25
Irudia 19: Modu komuneko neurketan emaitzak	26
Irudia 20: Sare elektrikoaren entxufeak eta BNC konektorea duten konektoreak [16]..	26
Irudia 21: EUTaren inpedantzia neurtzeko muntaia [16].....	27
Irudia 22: Isolamendua neurtzeko muntaia [16]	28
Irudia 23: VDFa neurtzeko 1. Muntaia (set 1) [16].....	28
Irudia 24: VDFa neurtzeko 2. Muntaia (set 2) [16].....	28
Irudia 25: Konektoreek sortutako atenuazioa neurtzeko muntaia.....	29
Irudia 26: OrCAD-en logoa.....	30
Irudia 27: ADSren logoa	31
Irudia 28:"7." puntuan jorratuko diren gaien eskema	33
Irudia 29: R&S®ENV216 LISNaren zirkuitu elektronikoa [28]	34
Irudia 30: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISNa ADSn inplementatua	35
Irudia 31: EUT inpedantzia ezberdinen eragina karakterizatzeko LISN zirkuituaren eskema elektrikoa	38

Irudia 32: EUTn emisioak kuantifikatzeko eskema elektronikoa, sarearen inpedantzia ktea. delarik	39
Irudia 33: EUTn emisioak kuantifikatzeko eskema elektronikoa, sarearen inpedantzia aldakorra delarik	39
Irudia 34: SCHURTER 5500.2044 iragazkiaren zirkuitu elektronikoa [20].....	41
Irudia 35: SCHURTER 5500.2052 eta 5500.2055 iragazkien zirkuitu elektronikoak [21]..	41
Irudia 36: SCHURTER 5500.2060 iragazkiaren zirkuitu elektronikoa [22].....	42
Irudia 37: ADSen inplementatutako 5500.2044 iragazkiaren zirkuitua	42
Irudia 38: ADSen inplementatutako 5500.2052 iragazkiaren zirkuitua	43
Irudia 39: ADSen inplementatutako 5500.2055 iragazkiaren zirkuitua	43
Irudia 40: ADSen inplementatutako 5500.2060 iragazkiaren zirkuitua	43
Irudia 41: TSR ikerketa taldeak hiri-zonaldean egindako sarearen inpedantziaren neurketak [11]	46
Irudia 42: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren eskema elektronikoa [2].....	48
Irudia 43: Inpedantzien moduluaren eta fasearen tolerantzien definizioa	52
Irudia 44: R&S - AN Impedance Uncertainty Contribution [23].....	53
Irudia 45: LISNa eta EUTaren zirkuitu baliokidea	54
Irudia 46: Edozein LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia.....	55
Irudia 47: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria	56
Irudia 48: LISN jakin baten ziurgabetasun kontribuzioa lortzeko prozedura.....	57
Irudia 49: LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia.....	59
Irudia 50: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria	60
Irudia 51: Gantt-en diagrama.....	83
Irudia 52: ADSn inplementatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren zirkuitua	145
Irudia 53: ADSn inplementatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren konponentea	146
Irudia 54: SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa	147
Irudia 55: SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkiaren konponentea	148
Irudia 56: SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa	148
Irudia 57: SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkiaren konponentea	148
Irudia 58: SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa	149

Irudia 59: SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkiaren konponentea	149
Irudia 60: SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa	149
Irudia 61: SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkiaren konponentea	150
Irudia 62: Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplearen Excel orria.....	150
Irudia 63: Edozein LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia.....	152
Irudia 64: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria	152
Irudia 65: LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia.....	154
Irudia 66: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria	154

GRAFIKOEN ZERRENDA

Grafikoa 1: EPCOS B84142A0010A166 EMC iragazkiaren eragina emisio gidatuetan. [11]	9
Grafikoa 2: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-inpedantziaren modula eta fasea [2]	20
Grafikoa 3: $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-inpedantziaren modula eta fasea [2]	20
Grafikoa 4: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 1 \Omega)$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-inpedantziaren modula eta fasea [2]	20
Grafikoa 5: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ inpedantziaren balio nominala, TSR laborategiko LISNaren inpedantzia eta tolerantzia maximoko zirkunferentzien (Tolerance Circle) diagrama	59
Grafikoa 6: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren portuen sarrera-inpedantziaren modulua	100
Grafikoa 7: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren portuen sarrera-inpedantziaren fasea	100
Grafikoa 8: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben modulua	101
Grafikoa 9: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben fasea	101
Grafikoa 10: $S_{\text{EUT-IN}}$ transferentzia funtzioaren anplitudea	102
Grafikoa 11: $S_{\text{EUT-IN}}$ transferentzia funtzioaren fasea	102
Grafikoa 12: $S_{\text{RX-EUT}}$ transferentzia funtzioaren anplitudea	103
Grafikoa 13: $S_{\text{RX-EUT}}$ transferentzia funtzioaren fasea	103
Grafikoa 14: $S_{\text{EUT-IN}}$ transferentzia funtzioaren anplitudea	104
Grafikoa 15: $S_{\text{EUT-IN}}$ transferentzia funtzioaren fasea	104
Grafikoa 16: $Z_{\text{RX_port}}$ neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua	105
Grafikoa 17: $Z_{\text{RX_port}}$ neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua (handipena)	105
Grafikoa 18: $Z_{\text{RX_port}}$ neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren fasea	106
Grafikoa 19: $Z_{\text{IN_port}}$ neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua	106
Grafikoa 20: $Z_{\text{IN_port}}$ neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren fasea	107
Grafikoa 21: $ H(f) $ transferentzia kurbaren modulua	107
Grafikoa 22: $ H(f) $ transferentzia kurbaren modulua (handipena)	108

Grafikoa 23: $H(f)$ transferentzia kurbaren fasea.....	108
Grafikoa 24: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren modulua (zirkuitu irekian).....	109
Grafikoa 25: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren fasea (zirkuitu irekian)	109
Grafikoa 26: EMC iragazkien $S(1,2)$ transferentzia funtzioen modulua.....	110
Grafikoa 27: EMC iragazkien $S(1,2)$ transferentzia funtzioen fasea	110
Grafikoa 28: EMC iragazkien $S(2,1)$ transferentzia funtzioen modulua.....	111
Grafikoa 29: EMC iragazkien $S(2,1)$ transferentzia funtzioen fasea	111
Grafikoa 30: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea	112
Grafikoa 31: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea.....	112
Grafikoa 32: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren anplitudea	113
Grafikoa 33: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren fasea.....	113
Grafikoa 34: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea.....	114
Grafikoa 35: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea.....	114
Grafikoa 36: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren modulua.....	115
Grafikoa 37: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren fasea	115
Grafikoa 38: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-impedantziaren modulua.....	116
Grafikoa 39: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-impedantziaren modulua	116
Grafikoa 40: EMC iragazkiekin $ H(f) $ transferentzia kurbaren modulua	117
Grafikoa 41: EMC iragazkiekin $H(f)$ transferentzia kurbaren fasea	117
Grafikoa 42: Sarearen impedantziaren moduluaren eta erregresio polinomikoaren konparaketa.....	123
Grafikoa 43: Sarearen impedantziaren fasearen eta erregresio polinomikoaren konparaketa.....	124
Grafikoa 44: Sarearen balioen, erregresio polinomikoaren eta $50 \Omega / (2,5 \mu H + 4 \Omega)$ impedantziaren arteko konparaketa.....	125
Grafikoa 45: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-impedantziaren modulua.....	125
Grafikoa 46: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-impedantziaren fasea	126
Grafikoa 47: LISNen S parametroen modulua.....	126
Grafikoa 48: LISNen S parametroen fasea	127
Grafikoa 49: LISNek portuetan duten sarrera-impedantziaren modulua.....	127
Grafikoa 50: LISNek portuetan duten sarrera-impedantziaren fasea	128

Grafikoa 51: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ inpedantziaren balio nominala, TSR laborategiko LISNaren inpedantzia eta tolerantzia maximoko zirkunferentzien (Tolerance Circle) diagrama..... 139

AKRONIMOEN ZERRENDA

ADS	Advanced Design System
AENOR	Asociación Española de NORmalización y certificación
AMM	Automated Meter Management
AMN	Artificial Main Network
BNC	Bayonet Neill-Concelman
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CIS	Component Information System
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
D8QPSK	Differential 8-Phase Shift Keying
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DUT	Device Under Test
EA	Equipo Auxiliar
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	ElectroMagnetic Interference
ESE	Equipo Sometido a Ensayo
EUT	Equipment Under Test
FCC	Federal Communications Commission
GrAL	Gradu Amaierako Lana
HES-SO	Haute école spécialisée de Suisse occidentale
IEC	International Electrotechnical Commission
LISN	Line Impedance Stabilization Network
LV	Low Voltage
PLC	Power Line Communication
PRIME	PowerLine Intelligent Metering Evolution
REE	Red Eléctrica de España
S parametroak	"Scattering parameters", dispersio parametroak
SG	Smart Grid
SM	Smart Meters
TSR	Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones

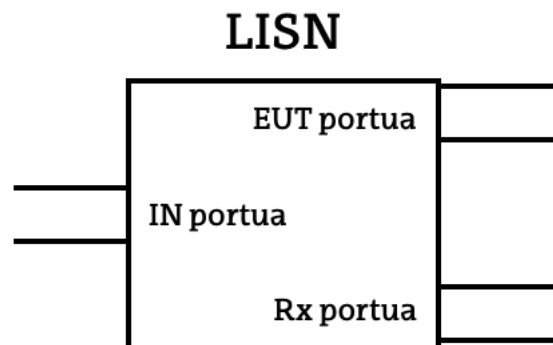
UNE-EN	Una Norma Española – European Norm
UPV/EHU	Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea
VDF	Voltage Division Factor
VHDL	VHSIC Hardware Description Language
VNA	Vector Network Analyzer

MEMORIA

1. SARRERA

Txosten honetan zehar GrAL-ean (Gradu Amaierako Lana) jorratutako lan guztiak azalduko dira. Bildutako informazioa eta azalpenak hiru zati garrantzitsuetan banatuko dira. Alde batetik, LISN batek, bere portu guztietan, eremu elektromagnetikoen elkarrekintzan aurkezten duen konportamendua ebaluatuko da. Bestetik, LISNak neurketak egiteko erabiltzerakoan, egonkortze-sare hauek sortzen duten ziurgabetasun kontribuzioa analizatuko da. Amaitzeko, eskema elektriko berri bat proposatuko da LISN berrien eraikuntzarako; honen xedea gaur egungo sare elektrikoaren ezaugarriak dituen LISNa sortzea delarik.

LISNak hiru portu dituzten egonkortze-sareak dira. Portu hauek IN (sare elektrikoaren portua), EUT (proban dagoen gailuaren portua) eta Rx (neurgailuaren portua) dira. LISNen eginkizunik garrantzitsuenak honako hauek dira: IN portutik datozen emisioak iragaztea, baina 50 Hz edo 60 Hz-ko korrante aldakorreko seinalea pasatzen



Irudia 1: LISN baten diagrama

uztea; EUT portuan ezaguna, sarearen ezaugarrien independentea eta finkoa den sarrera-inpedantzia aurkeztea; eta EUTek sortzen dituzten emisioak Rx portura transmititzea. LISNak EUTn emisioen eta inpedantzien neurketetan erabiltzen dira. Dena dela, parametro hauen inguruan egindako neurketak Rx portuan egiten dira; eta hortaz, LISNek parametro hauen neurketen balioetan eragina dute. LISN mota ezberdinak existitzen dira, EUTEi egin nahi zaizkien proben arabera sailkatzen direnak. Egonkortze-sare hauekin EMC probak egiten dira, besteak beste, hauek xedatzen duten araudia nahiko zabala dena.

Proiektu honetan, lehendabizi, UPV/EHUko TSR (*Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones*) ikerketa taldeak bere laborategian duten LISNa, *R&S@ENV216*

Two-Line V-Network, aztertuko da. Hau, CISPR 16-1-2 [1] eta UNE-EN 55016-1-2 [2] arauak xedatutako $50 \Omega / (50 \text{ H} + 5\Omega)$ LISN motan oinarritzen da, eta software bidezko simulazioekin egonkortze-sare mota hau analizatuko da. Ikerketa honen helburua, gailu mota honek, uhin elektromagnetikoen elkarrekintzan, duen konportamendua ulertzea, ebaluatzea eta kuantifikatzea izango da. Analisi hau, gailuak dituen hiru portuetan egingo da: sarera konektatzen den portua, EUTra konektatzen den portua eta neurketa gailura (sare analizatzailea, espektro analizatzailea, osziloskopioa, etab.) konektatzen den portua. Azterketa hau, portu ezberdinetan S parametroen eta tentsio neurketen simulazioak erabiliz egingo da; hauek 30 MHz frekuentziara arte egingo direlarik. Simulatuko diren parametroekin, LISNaren portu guztietan aurkeztu den sarrera-impedantzia kalkulatu da, baita portuen arteko transferentzia funtzioak ere.



Irudia 2: R&S®ENV216 Two-Line V-Network

Ondoren, aipatutako LISN mota, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$, EUTen emisio elektromagnetikoen eta impedantzien neurketak egiteko erabiltzen denean egonkortze-sareak duen fidagarritasuna aztertuko da. Izan ere, LISNen ezaugarriak xedatzen dituzten arauak, lehen aipatutako CISPR 16-1-2 eta UNE-EN 55016-1-2 arauak, tolerantzia tarte bat baimentzen dute. Hau dela medio, egiten diren neurketak, eta hauen ostean egiten diren emaitzen prozesaketak, errore edo desbiderapen esanguratsuak izan ditzakete. Gainera, EUTen portuaren sarrera-impedantziaren tolerantzia honek, neurketetan ziurgabetasun maila bat sortzen du; lan honetan zehar ziurgabetasun kontribuzio hori kalkulatzeko euskarri digitalak sortuko dira.

Azkenik, gaur egungo sare elektrikoaren ezaugarrietatik abiatuta, LISN berri baten eskema elektrikoa proposatuko da; izan ere, gailu hauen ezaugarriak, gehienetan, ez datoz bat sareak duen balio errealekin. Hau dela eta, TSR ikerketa taldeak egindako LV (*Low Voltage*) sarearen impedantziaren neurketekin; eta CISPR 16-1-2 eta UNE-EN 55016-1-2 arau teknikoetan jasotzen diren LISNen zirkuituak oinarri hartuta (azkenengo hauetan aldaketak eginez) LISN berri bat sortzeko zirkuitu elektronikoa proposatuko da.

2. TESTUINGURUA

Azken belaunaldian, enpresa elektrikoek beraien LV sareen kontrola eta kudeaketa berritu dute, hau automatizatuz. Eboluzio honi esker egindako aldaketek sare elektriko moderno bat sortu dute. Hau *Smart Grid* edo SG moduan ezagutzen da, sarean sartu edo berritu egin diren ekipo berrien automatizazioa dela eta. REE (*Red Eléctrica de España*) Espainiako elektrizitate garraio sare-operadorearen esanetan "sare adimentsu bat horretara konektatuta dauden erabiltzaile guztien konportamendua eta ekintzak era efizientean bateratzen dituen sarea da. Honek sistema energetiko jasangarri eta eraginkorra bermatu behar du; galerak baxuak izanik, kalitate maila altuak eskainiz eta hornikuntza segurtasuna ziurtatuz" [3].

Espainian SGen zein hauei lotutako teknologien garapena eta ezarpena handia izan da; izan ere, 2012. urteko otsailaren 16an argitaratu zen IET/290/2012 arauak elektrizitate-operadoreei, beraien LV sareetan, elektrizitate-neurgailu guztiak adimentsuak (edo SM, *Smart Meters*) instalatzera eta SGarekin bateragarriak izatera behartzen zien, 2018ko abenduaren 31ra arteko epea muga zutelarik. [4]

Behe-tentsioko sareetan, kontagailu elektrikoak dira ekiporik garrantzitsuenak, gehien bat, ekipo guztien artean kopururik handiena direlako. Kontagailu elektriko berri hauek (etxebizitzetan daudenak, adibidez) hainbat ekintza egiten dituzte, haien artean: kontsumo elektrikoaren neurketak, teleneurketak eta telekudeaketa, besteak beste. Datu fluxu hauek kable elektrikoaren bitartez bidaltzen dira auzoen transformadore elektrikoetan dauden kontzentratzaile batzuetara, hauetatik aurrera datuak elektrizitate operadoreei helarazten zaizkielarik.

Sare elektrikoaren bitartez egiten diren konexioak PLC komunikazio sistemen bidez ematen dira, Espainian PRIME (*PowerLine Intelligent Metering Evolution*) estandarrarekin. Dena dela, beste herrialde batzuetan beste protokolo batzuk erabiltzen dira, halan hola, G3-PLC, ITU-T G.9960 edota IEEE 1901 [5]

PRIME protokoloa "PRIME Alliance" enpresa multzoak sortutako "telekomunikazio arkitektura publikoa, irekia eta jabego gabekoa da, AMMen (*Automated Meter Management*) funtzionalitateen oraina eta etorkizuna euskarri izango duena; etorkizuneko sare elektrikoek, edo Smart Griden,, sorkuntza ahalbidetuko duena" [6].

Komunikazio sistema hau, European, "CENELEC-A" banda (3 kHz-etik 95 kHz-rako banda) erabiltzeko baimenduta dago eta, Estatu Batuetan berriz, "FCC Part 15" banda, 500 kHz-era arte heltzen dena. PRIME arkitekturak hainbat babes eta sendotasun mekanismo inplementatzen ditu, haien artean OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) multiplexazioa eta DBPSK, DQPSK eta D8PSK modulazioak daudelarik [7] [8].

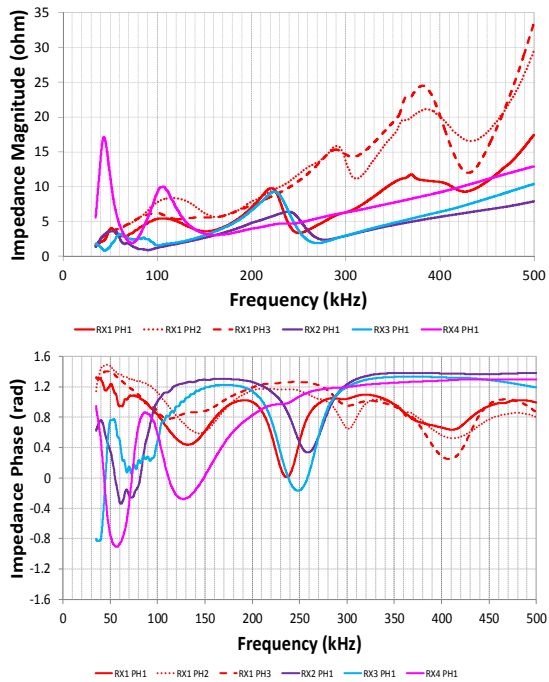
Komunikazio hauek datuen transmisiorako prestatuta ez dagoen kanal batean gertatzen dira, sare elektrikoa, oso aldakorra eta ezegonkorra dena, konektatuta dauden ekipoen kopuruaren eta erabileraren menpekoa dena. Gainera sare honetan erabiltzen diren kableak ez daude blindatuta, beraz, ingurune honetatik kanpo sortzen diren perturbazio elektromagnetikoen komunikazio hauetan interferentziak sortzen dituzte. Hau dela medio, oso garrantzitsua da sare honek jasan ditzakeen aldaketak karakterizatzen jakitea; baita honetara konektatzen diren gailuek sortzen dituzten emisio elektromagnetikoak neurtzen jakitea ere.

Bilboko Ingeniaritza Eskolako TSR (*Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones*) ikerketa taldeak "*Communications for Smart Grids*" ikerketa lerroa jorratzen du, besteak beste. Honetan, sare elektrikoek bitartez gauzatzen diren komunikazio elektronikoak eta SGen arkitektura aztertzen dira. Ikerketa taldearen helburuak komunikazio protokolo hauentzako kodetze eta dekodetze teknika berriak definitzea, egoera ezberdinetan komunikazio sistemaren efizientziaren analisia egitea, ezbeharrezko emisioen eta interferentzien karakterizazioa eta analisia jorratzea, etab dira [9]. GrAL hau azken sakontze lerro honetan oinarritzen da; izan ere, aztertuko diren ekipoen, LISNak, sarera konektatzen diren gailu pasiboek sortzen dituzten emisioen eta interferentzien neurketa egiteko erabiltzen baitira.

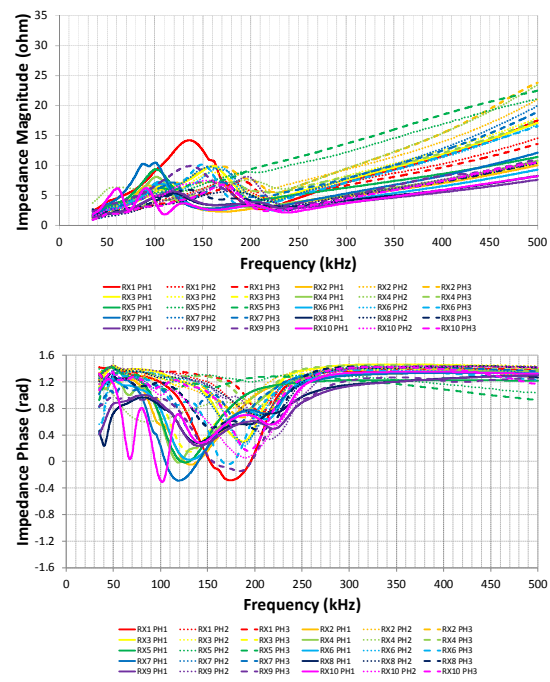
Ikerketa talde honek, *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNa dauka bere laborategian. Gailu honetatik eta haren ezaugarrietatik abiatuz GrAL-aren nondik norako guztiak jorratuko dira.

2.1. LV sare elektrikoa

Behe-tentsioko sare elektrikoa, aipatu den moduan, oso ingurune ezegonkorra eta aldakorra da, ingurune honen propietateak honetara konektatuta dauden gailuen menpekoa delako. TSR ikerketa taldeak, LV sarearen karakterizazioan lan egiten du. Lan horri esker, sareak, frekuentzia baxuetan (35 kHz eta 500 kHz bitartean), 2 Ω eta 70 Ω-eko inpedantzia duela eta ia induktiboa dela frogatu da. Dena dela, neurketa puntuaren arabera, sarearen arkitekturaren eragina dela eta, balioak nahiko aldakorrak dira. Hots, eremu landatarretan eta hiri inguruneetan egindako neurketen emaitzak nahiko desberdinak dira [10].



Irudia 3: Landa eremuko sare elektrikoaren inpedantziaren neurketak [10]



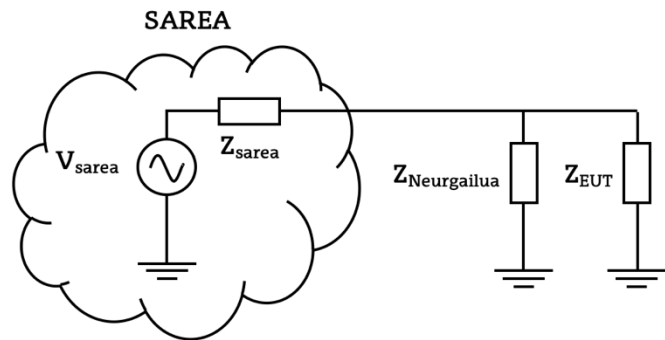
Irudia 4: Hiri eremuko sare elektrikoaren inpedantziaren neurketak [10]

LV sarearen neurketa hauek lagungarriak izango dira lan honetan zehar; izan ere, sare elektrikoak duen ezaugarriak LISNetan nahiko garrantzitsuak dira.

2.2. LISN: azalpena, ezaugarriak eta erabilera

GrAL honen txostenarekin jarraitu baino lehen, LISN bat zer den eta zertarako erabiltzen den azaltzea ezinbestekoa da.

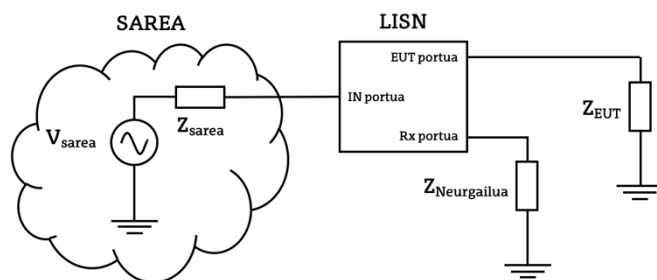
LISNak sortu baino lehen, gailu elektrikoek sarean sortzen zituzten emisio elektrikoak eta hauen inpedantzia neurtzeko, neurketa aparatuak EUTen entxufeetara konektatu behar ziren, eta hortaz, zuzenean sarera konektatzen ziren. Jakina den



Irudia 5: Gailuen (EUT) emisioak neurtzeko era arrunta

moduan, gailuek sarearen elektro-indarra behar dutelako haien funtzionamendua burutzeko. Konexio hauek direla eta, neurgailuetan neurtzen ziren emisioak sare elektrikoaren eta EUTaren batura ziren; eta inpedantzien neurketak, EUTen eta sare elektrikoaren paraleloak. Egoera honek hainbat arazo sortzen ditu: ezin da ziurtatu zeintzuk diren EUTek sortzen dituzten emisio elektrikoak eta zenbatekoak diren EUTn inpedantziak. Gainera, sare elektrikoa oso aldakorra eta ezegonkorra da, lekuan lekuko gailu eta LV sarearen arkitekturaren menpekoa delarik. Neurketa inguruaren aldakortasuna dela eta, neurketa egiteko hasierako baldintzak beti ezberdinak izango dira, eta hortaz, neurketak errepikatzeko eta toki ezberdinetan egindako neurketak konparatzeko inbariantza baldintza ezin da bete.

Arazo honi irtenbide bat emateko LISNak sortu ziren. LISN, ingelesezko *Line Impedance Stabilization Network* hitzetatik dator, euskaraz, "linearen inpedantzia egonkortze-sarea" esan nahi



Irudia 6: Gailuen (EUT) emisioak LISN baten bitartez neurtzeko era

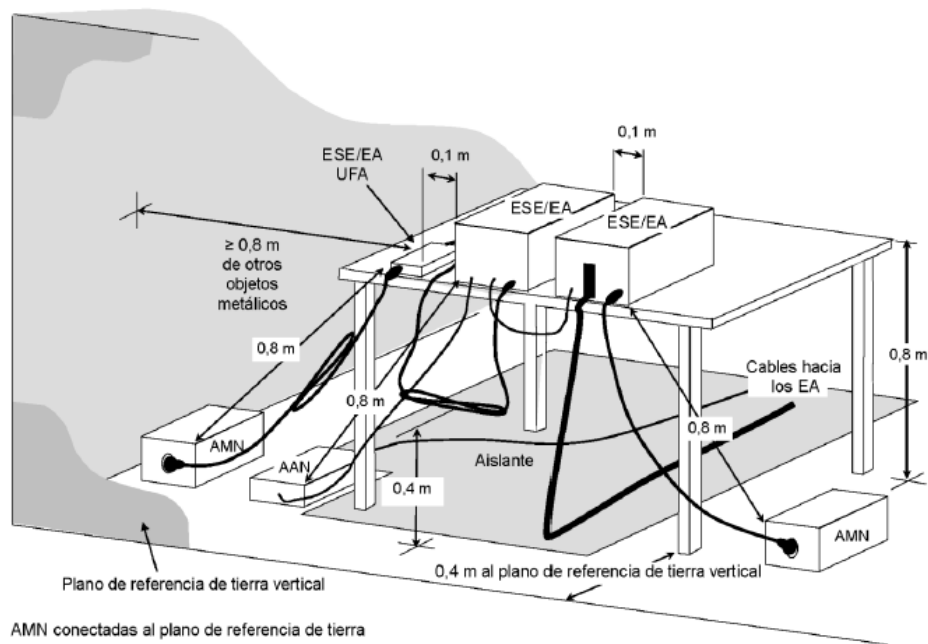
duelarik. Gailu honen izena bere funtzionamendutik dator; izan ere, LISN batek

analizatzen ari den gailuaren portuan sarrera-impedantzia bera duelako; ezaguna eta sarearen menpekotasunik gabekoa dena. Portu honetan dagoen sarrera-impedantzia hau, sarearen impedantziaren antzekoa balioak ditu, izan ere, sarearen konportamendua simulatu nahi da portu honetan. LISNek, sare elektrikoaren goi maiztasuneko emisioak iragazten dituzte; hain zuzen ere, sarearen portutik eta EUT portuaren artean behe paseko iragazki baten konportamendua hartzen dute, 50 edo 60 Hz-eko sarearen korrante aldakorreko seinalea pasatzen uzteko eta sarearen zarata elektrikoa iragazteko diseinatuta daudelako. EUT eta neurgailuaren portuen artean goi paseko iragazki baten moduan funtzionatzen dute, EUTak sortutako emisioak neurgailuaren portuan edukitzeko. Gainera, sarean dauden emisioak neurgailura ez pasatzeko diseinatuta dago. Ezaugarri hauek direla eta, denboran zehar neurketak egiteko baldintzak berak dira, hortaz, neurketen errepikapena eta konparaketa egitea posiblea izango da, neurketak LV sarearen eta honetan konektatutako gailuen independenteak direlako.

Aipatu den moduan, EUTaren portuko sarrera-impedantzia ezaguna eta lekuan lekuko sare elektrikoaren independentea da. Portu honetan dagoen impedantzia hau, sare elektrikoaren impedantziaren antzeko balioak izan beharko ditu. Izan ere, gailu hauekin sare elektrikoa simulatu nahi bada, EUTek sarearen impedantzia bera ikusi beharko dute, egoera arrunten baldintza sortzeko eta neurketak zenbat eta zehatzagoak izateko.

LISN gehienak EMC (*ElectroMagnetic Compatibility*) probak egiteko erabiltzen dira. Proba hauetan, emisio elektromagnetikoez gailuen funtzionamenduan eraginik ez izatea eta gailuek sortzen dituzten emisioak beste gailuetan perturbaziorik ez sortzea aztertzen da. LISNak azkenengo hauek egiteko erabiltzen dira. Hauen bitartez gailuek, kable elektrikoaren bidez, sortutako emisioak neurtzen dira eta CISPR arauen arabera atalase balioekin konparatzen dira, gailuen funtzionamendua egokia dela ziurtatzeko.

EMC proba hauetan, emisio gidatuak neurtzen direnean, CISPR erakundeak araututako muntaiak erabiltzen dira. Honako hau, proposatzen den muntaietako bat da:



Irudia 7: EMC probetan emisioak neurtzeko LISNaren muntaia [10]

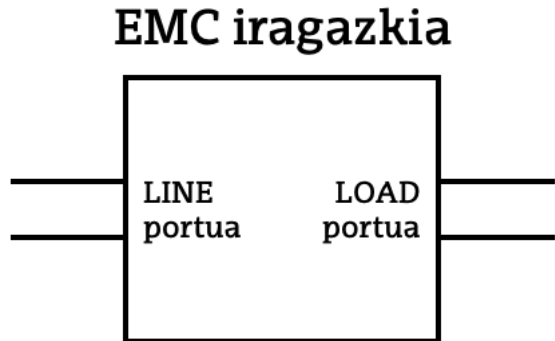
Muntaia hauetan hainbat elementu egotea beharrezkoa da, aipagarrienak hauek izanik:

- AMN (*Artificial Main Network*), txosten honetan zehar LISN moduan izendatu dena. Honetan proba pasatu beharko duen gailua (ESE/EA) eta neurgailua konektatzen dira.
- ESE/EA (*Equipo Sometido a Ensayo / Equipo Auxiliar*), lan honetan EUT moduan aipatu egin dena. Probak egingo zaizkion gailua da, hau AMNra konektatuta egongo da eta honetatik 0,8 m-ra kokatuta egon beharko da.
- Zurezko mahia. ESE/EAk kokatzen diren planoa da (AMNak ere hemen koka daitezke 0,8 m-ko distantzia betetzen bada)
- Lurreko planoa. 2 m-ko altuera eta zabalera duen xafla metalikoa da. Hau AMNen lurrarekin zirkuitulaburtu behar da eta ekipo guztietatik 0,4 m-ra kokatu behako da.
- Isolamendu-transformadore elektrikoa, 1:1 erlazioa duena. Transformadore hau beharrezkoa da LISNak dituzten ihes korrante handiak direla eta. Instalazio elektriko arrunt batera konektatuz gero, segurtasun mekanismoak (etengailu diferentzialak, hain zuzen ere) aktibatuko ziren.

2.3. EMC iragazkiak

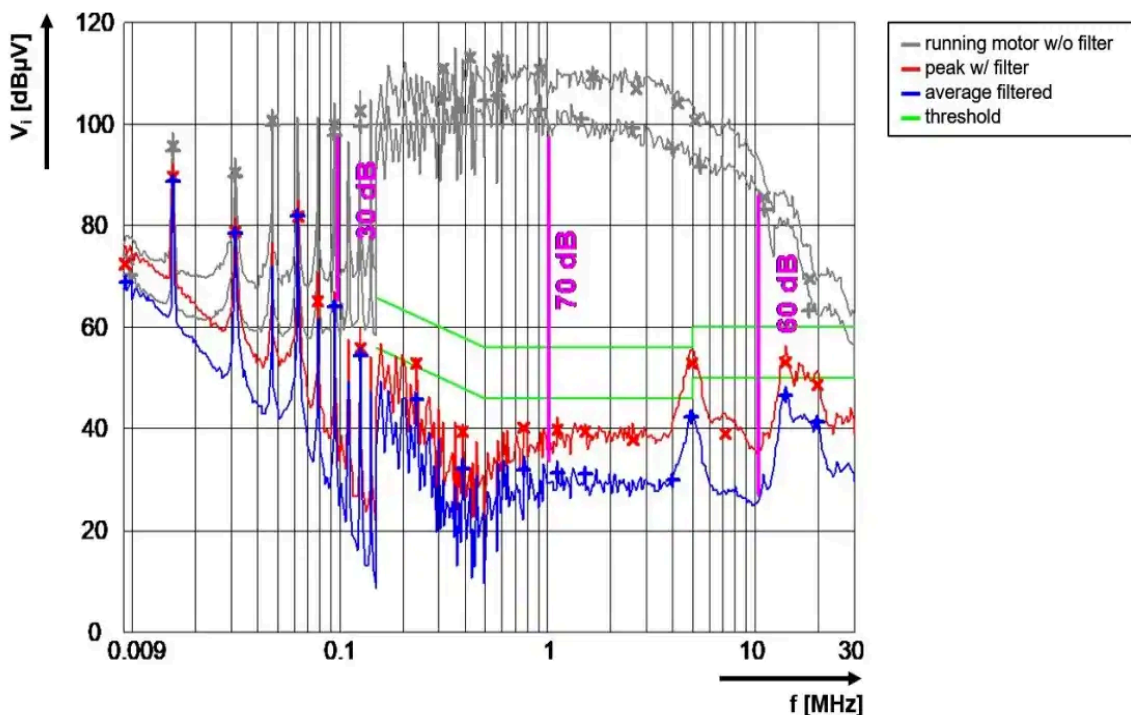
GrAL honetan erabiliko diren EMC iragazkien azalpena ematea beharrezkotzat hartzen da.

EMC iragazkiak, hauen izenak adierazten duen moduan, gailuen emisioak EMC araudian ezarritako atalasea ez gainditzeko iragazkiak dira.



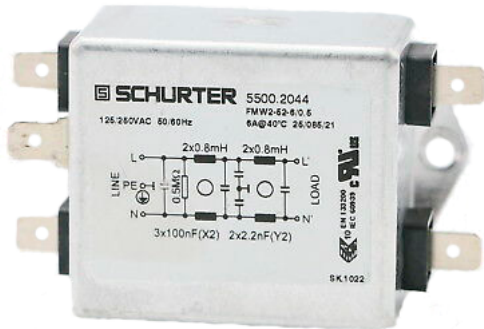
Irudia 8: EMC iragazki baten diagrama

Osagai hauek bi portu dituzte, sare elektrikoaren linearen portua (LINE) eta kargaren portua (LOAD) (gailuak konektatuko diren portua). Hauen helburua, lehenago adierazi den moduan, gailu elektriko eta elektronikoen sortutako emisio gidatuak iragaztea izango da, EMC araudi teknikoak jasotzen dituen balio maximoak gaindi ez daitezten. Iragazki hauek duten ezaugarriak direla eta, funtzionamendu ez simetrikoa dutela aipatu behar da; beraz, LINE portua sare elektrikorara eta LOAD portua gailuetara konektatu beharko dira nahi eta nahi ez. Hurrengo irudian, motor batek sortutako perturbazioak, emisio gidatuen neurketan EMC iragazki zehatz batek duen eragina eta EMC araudiaren atalase balioak adierazten dira:



Grafikoa 1: EPCOS B84142A0010A166 EMC iragazkiaren eragina emisio gidatuetan. [11]

Proiektu honetan EMC iragazki komertzial batzuk aztertu egin dira, SCHURTER fabrikatzailearen 5500.2044, 5500.2052, 5500.2055 eta 5500.2060 erreferentzia zenbakiak duten iragazkiak hain zuzen ere.



Irudia 9: : SCHURTER 5500.2044 iragazkia



Irudia 10: SCHURTER 5500.2055 iragazkia

GrAL honetan, gailu hauek inpedantzia aldakorra duten EUT modura erabiliko dira. Erabilera hau emango zaien arren, hauen karakterizazioa ere egingo da.

3. LANAREN HELBURUAK ETA IRISMENA

Atal honetan proiektuak dituen helburuak eta irismena azalduko dira. Helburuetan, proiektu honetan lortu behar diren lanak biltzen dira. Irismenean, berriz, proiektu honekin, eta beste batzuekin batera, lortu nahi den norainokoa azalduko da.

3.1. Helburuak

GrAL honen helburuak honako hauek dira:

1. Software bidezko simulazioen bidez, TSR ikerketa taldeak duen *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNaren, edo baliokidearen, S parametroen bidezko konportamenduaren karakterizazioa egitea:
 - a. LISNaren zirkuitu elektronikoa simulazio software-ean inplementatzea
 - b. S parametroekin LISNaren portuen arteko transferentzia kurbak lortzea; garrantzitsuenak hauek izanik: sare elektrikoaren portutik (IN) EUTaren portuaren artekoa (S_{EUT-IN}), EUTaren portutik neurgailuaren (Rx) portuaren artekoa (S_{RX-EUT}) eta sare elektrikoaren portutik (IN) neurgailuaren portuaren artekoa (S_{RX-EUT}).
 - c. S parametroetatik abiatuz, LISNaren portu guztietan aurkezten den sarrera-impedantzia karakterizatzea; hots, sare elektrikoaren portuan (Z_{IN_port}), EUTaren portuan (Z_{EUT_port}) eta neurgailuaren portuan (Z_{RX_port}).
 - d. Impedantzia ezberdinetako EUTak analizatzerakoan, S parametroen balioen aldakuntza zehaztea.
 - e. Impedantzia ezberdinetako EUTak analizatzerakoan, neurgailuaren portuko sarrera-impedantziaren (Z_{RX_port}) aldakuntza zehaztea.
 - f. Impedantzia ezberdinetako EUTak analizatzerakoan, sare elektrikoaren portuko sarrera-impedantziaren (Z_{IN_port}) aldakuntza zehaztea.
2. Simulazioen bitartez, *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNak, edo baliokideak, emisio elektromagnetikoen aurrean duen erantzuna kuantifikatzea:
 - a. Impedantzia ezberdinak dituzten EUTen aurrean, EUT eta neurgailuaren portuen arteko transferentzia kurbak karakterizatzea.
3. Software bidezko simulazioak erabiliz, EMC iragazki komertzial batzuen karakterizazioa egitea:

- a. EMC iragazkien bi portuen artean, S parametroak erabiliz, transferentzia kurbak lortzea.
 - b. S parametroetatik abiatuz, EMC iragazkien portuetan dagoen sarrera-inpedantzia kuantifikatzea.
 - c. EMC iragazkiak LISNaren simulazioetan EUT moduan erabiliz:
 - i. S parametroek jasaten dituzten aldakuntza zehaztea.
 - ii. LISNaren neurgailuaren portuan Z_{RX_port} sarrera-inpedantzia karakterizatzea.
 - iii. LISNaren sare elektrikoaren portuan Z_{IN_port} sarrera-inpedantzia kuantifikatzea.
4. LISN batean sintesia egitea, hots, eskema elektriko berri bat proposatzea.
- a. LISN baten osagai elektronikoek, eta hauen balioek, S parametroetan eta portuen sarrera-inpedantzian duten eragina zehaztuz.
 - b. LISNaren EUTaren portuaren sarrera-inpedantziak egungo LV sare elektrikoaren inpedantziaren hurbileko balioak lortzea.
5. CISPR 16-1-2 eta UNE-EN 55016-1-2 arauetan xedatutako LISNentzako tolerantzia kontuan hartuta, hauek neurketetan sortzen duten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatu dezakeen euskarri digitala sortzea:
- a. LISN mota ezberdinetarako, EUTaren portuaren sarrera-inpedantzia edozein izanik, LISNen neurketetan sortzen den ziurgabetasun kontribuzi maximoa kalkulatzeko baliabidea sortzea.
 - b. *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNaren kalibrazio liburuako baliokin, TSR taldeak duen LISNak neurketetan sortzen duen ziurgabetasun kontribuzioa zehaztea.

3.2. Irismena

Txosten honetan zehar aipatu den moduan, GrAL honetan garatutako lana proiektu handiago baten barruan kokatuta dago, TSR ikerketa taldearen *“Communications for Smart Grids”* proiektuan, hain zuzen ere. Ikerketa lerro honen barruan hainbat proiektu burutzen dira aldi berean, egiteke dagoen hauetako bat LISN batekin gailuen inpedantziak eta emisioak neurtzea delarik. Gradu Amaierako Lan honen helburuetako bat LISN horren neurketa postua martxan jartzen laguntzea da, gailuaren neurketa funtzionamendua baldintzatzen duten parametroen karakterizazioarekin.

Beste alde batetik, ikerketa lerro honetan, beste ikerketa talde batzuekin batera, TSR taldea LISNen araudia berritzeko proiektu baten partaide da, proiektuaren izena SupraEMI delarik. Honen xedea, LISNen ezaugarriak eta araudia gaur egungo sarearen ezaugarriekin bat egitea da, proiektuan bertan honako hau biltzen da: “proiektu hau estandarizazio batzordeekin lankidetzan egingo da, neurri-esparru berri bat garatzeko, supraharmenikoen interferentzien mugak era errealista eta sinesgarrian ezartzeko eta merkatuko masa-ondasunen erregulazioa eta betetzea ahalbidetzeko”. GrAL honetan, proiektu honetan planteatutako lan horri hasiera eman zaio.

4. LANAK DAKARTZAN ONURAK

Proiektu hau burutzeak hainbat onura ekarri ditu. Hauen artean garrantzitsuenak onura teknikoak eta ekonomikoak direlarik.

4.1. Onura teknikoak

Lanean zehar aipatu den moduan, Smart Griden hedapena hazkundera dago. Hauetan ematen diren komunikazioetan gertatzen diren interferentziak hobeto ezagutzea, karakterizatzea eta zein gailuetatik datozen jakitea oso onuragarria da hauen garapenerako. Izan ere, PLC komunikazio arkitekturan hobekuntzak eta babes mekanismoak inplementatzeko, komunikazio hauetan eragiten duten faktoreen analisia ezinbestekoa da.

LISN sareak, sare elektrikoan, sortutako interferentzia edo emisioak neurtzeko erabiltzen direnez, hauen hobekuntza jorratzen duten proiektuek, zeharka den arren, SGetan eta EMC probetan hobekuntzak ekar ditzakete.

GrAL honek eman dituen onura teknikoen artean, garrantzitsuena, LISN ezberdinen funtzionamendua simulatzeko sortu diren euskarri digitalak izango lirateke. Software bidez sortutako tresna hauekin, LISN ezberdinek sortzen duten ziurgabetasun kontribuzioa, portuen arteko transferentzia kurbak, portuen sarrera-inpedantziak, etab. simula daitezkeelako. Hau dela medio, LISN batekin neurketak egin baino lehen, honek izango duen konportamendua ebaluatu ahalko da; eta behin neurketak eginda, hauek zuzen egin direla ziurtatzeko erabili ahalko dira.

Beste alde batetik, "2.2 LISN: azalpena, ezaugarriak eta erabilera" puntuan azaldu den moduan, LISNek ihes korrante oso altuak dituzte; ekipo hauek erabiltzen dituzten pertsonak hainbat segurtasun neurri hartu behar dituzte, arrisku elektrikoa dela eta. Sortutako simulazio paketeekin LISNaren erabilera gutxitu daitekeela uste da, izan ere, neurketak egin baino lehen EUTak LISNetan izango duten konportamendua

karakterizatu ahalko da eta neurtu nahi den parametroa hobeto karakterizatzen duen muntaia aukeratu ahalko da, beharrezkoak diren neurketen kopurua gutxituz.

4.2. Onura ekonomikoak

Onura ekonomikoak jorratuz gero, LISNekin lan egiteak, eta hauen funtzionamendua karakterizatuta edukitzeak, ikerketa lerro honen inguruko nazioarteko proiektuetan parte hartzeko aukera ematen dio TSR ikerketa taldeari. Izan ere, LISN bat edukitzeak, eta honekin neurketak egiteak, beste ikerketa taldeekin lankidetzaz ahalbidetzen du, talde ezberdinek egiten dituzten neurketak konparatzeko edota partekatutako proiektuetan parte hartzeko aukera ematen dutelako. Lankidetzaz hauek TSR taldeari onura ekonomikoak ekarri diezazkiokete.

5. GAIAREN EGOERAREN AZTERKETA

GrAL proiektu hau garatu den bitartean ikerketa bibliografiko bat egin da. Honetan, LISNen funtzionamenduaren eta hauen araudiaren nondik norako guztiak aztertzeaz gain, ikerketa talde ezberdinek haien ikerlanetan erabilitako LISNen neurketen prozedura ezberdinak aztertu egin dira.

5.1. LISNen inguruko araudia

Atal hau jorratzen hasi baino lehen, aipatu beharra dago LISNen funtzionamendua, LISNekin egindako neurketen muntaiak, EMC probak, etab. arautzen duten arauak jerarkia bat jarraitzen dutela. GrAL hau jorratzeko, AENOR-en (*Asociación Española de NORmalización y certificación*) UNE-EN (*Una Norma Española – European Norm*) arauak kontsultatu egin dira. Dena dela, arau hauek Europako normalizazio erakundeetatik eratorritzen dira eta AENOREk arau hauek gaztelerara itzultzen ditu, Espainian indarrean jartzeko. Adibidez, txosten honetan erabiliko diren arauak CISPR edo CENELEC erakundeetatik datoz.

LISNen inguruko araudia oso zabala da; aipatu den moduan, hauek EMC probak egiteko erabiltzen direnez, proba hauek egiten dituzten laborategiek jarraibide berberak izan behar dituzte. Gainera, neurtzen den gailu elektriko edo elektronikoaren arabera araudi ezberdina aplikatu behar da.

EMC probak nola egiten diren, neurketa aparailuen ezaugarriak eta neurketa prozedurak arautzen dituen arau bilduma "CISPR 16" da. IEC-k (*International Electrotechnical Commission*) honako sailkapen hau ematen du [12]:

- CISPR 16-1: Tentsio, korrante eta eremuen neurketak eta neurketa lekuak arautzen dira. Atal hauetan neurketa aparatuen kalibrazio eta egiaztapen alderdiak biltzen dira.
 - 1-1 atala: Neurketa Aparatuak.
 - 1-2 atala: Ekipamendu lagungarriak: Emisio gidatuak.

- 1-3 atala: Ekipamendu lagungarriak: Potentzia perturbazioak.
- 1-4 atala: Ekipamendu lagungarriak: Irradiatutako emisioak.
- 1-5 atala: Antenen kalibrazioa 30 MHz eta 1000 MHz artean.
- 1-6 atala: EMC-antenen kalibrazioa.
- CISPR 16-2: Goi maiztasuneko EMC fenomenoak, emisioak eta immunitatea.
 - 2-1 atala: Emisio gidatuen neurketak.
 - 2-2 atala: Potentzia perturbazioen neurketak.
 - 2-3 atala: Irradiatutako emisioen neurketak.
 - 2-4 atala: Immunitate neurketak.
 - 2-5 atala: Fisikoki handiak diren ekipoen *In situ* egindako emisioen neurketa.
- CISPR 16-3: CISPR-ren historian zehar egindako txosten teknikoa eta informazioa biltzen dituen IECren txosten teknikoa.
- CISPR 16-4: Ziurgabetasuna, estatistikak eta mugako modelatzeari buruzko informazioa jasotzen ditu.
 - 4-1 atala: Ziurgabetasuna EMC proba estandarizatuetan.
 - 4-2 atala: Ziurgabetasuna EMC neurketetan.
 - 4-3 atala: Masa-ondasun produktuen EMC onarpena erabakitzeke faktore estatistikoak.
 - 4-4 atala: Arrangura estatistikoak eta limiteen kalkuluen modelatzea.
 - 4-5 atala: Probetan metodo alternatiboak erabiltzeko baldintzak.

Nahiz eta araudia oso zabala izan, LISNen ezaugarriak eta funtzionamendua ezartzen duen araua CISPR 16-1-2 da, UNE-EN 55016-1-2 araua honen baliokidea delarik. Arauaren dokumentu honetan LISN mota ezberdinek izan behar dituzten eskema elektrikoak, osagaien balioak, EUTaren portuak eduki behar duen sarrera-impedantzia, portuen arteko isolamendua, etab. arautzen da. Gainontzekoek, neurketak egiteko prozedurak, ziurgabetasuna edota beste motako emisioak neurtzeko ekipamendua arautzen dute.

Dena dela, EMC proben araudia ez da bakarrik CISPR 16 bilduman geratzen, hainbat araudi osagarri daude. Neurtu nahi den gailuaren arabera, neurketak nola eta emisioek zein balio eduki ditzaketen adierazten dute.

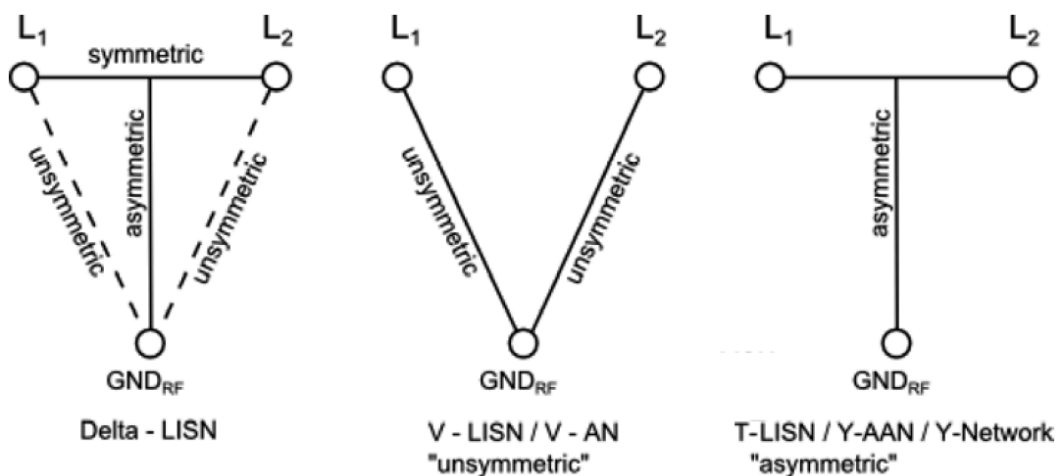
Smart Gridekin erlazionatutako araudia ere existitzen da. Hauetan, SGetan dauden ekipoei bete behar dituzten ezaugarriak agertzen dira:

- CISPR 11: Gailu industrial, zientifiko eta medikoen emisioak.
- CISPR 32: Informazio teknologien, equipo multimedien eta hartzaileen emisioak.
- CISPR 24: Informazio teknologien ekipoen immunitatea eta Smart Griden kontrol sistemak.
- CISPR 12/25: Ibilgailuen emisioen neurketa metodologia; ibilgailu elektrikoaren eta karga estazioen eragina kontuan hartzen duena.

Inpedantzien neurketari buruz araudia hain zabala ez den arren, UNE-EN 50065-7 arauan ekipoen inpedantzien neurketa arautzen da 3 kHz eta 148,5 kHz frekuentzia bitartean.

5.1.1. LISN mota ezberdinak

LISN mota ezberdinak existitzen dira, egonkortze-sareekin egin nahi diren neurketen menpeko sailkapena existitzen delako. LISNen sailkapeta nagusia hiru egonkortze-sare mota ezberdinek osatzen dute: V-LISN, Delta-LISN eta T-LISN [13].



Irudia 11: LISN moten sailkapena [13]

- **V-LISN:** GrAL honetan landu egin diren LISNak dira. Hauek emisio ez simetrikoak neurtzen dituzte. Hau da, sarearen linea batean dauden emisioak lurrarekiko neurtzen ditu.
- **Delta-LISN:** LISN mota hauek emisio simetrikoak neurtzen dituzte, izan ere, bi lineen arteko emisioak neurtzen dira.
- **T-LISN:** Mota honetako LISNek emisio asimetrikoak neurtzen dituzte. Emisioen neurketa hauek bi lineen arteko bitarteko puntu baten eta lurraren artean neurtzen dira.

Aipatutako moduan, GrAL honetan V-LISNak bakarrik aztertuko dira; izan ere, TSR ikerketa taldeak duen *R&S@ENV216* egonkortze-sarea mota honetako LISNa da.

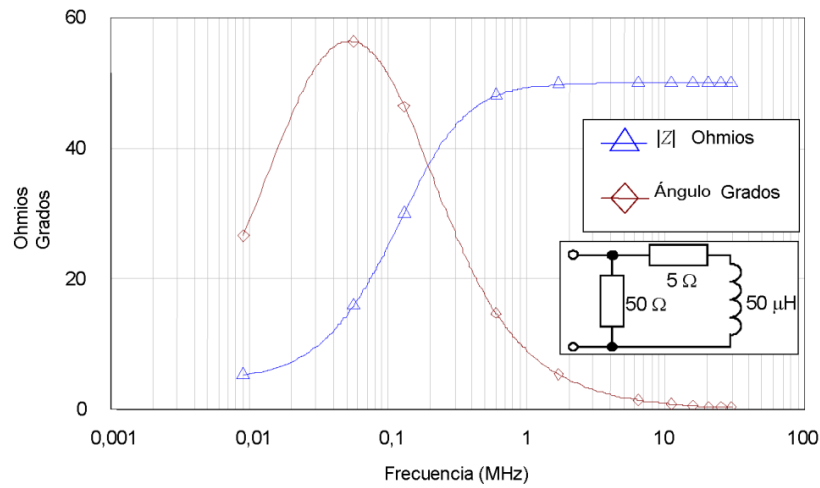
V-LISN mota bakoitza frekuentzia tarte zehatz batean neurketak egiteko homologatuta dago. Mota ezberdinak identifikatzeko LISNen sailkapena inpedantzia baten bitartez egiten da, adibidez, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ edo $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$. Lehen aipatu den moduan, inpedantziaren balio hau EUTaren portuan egongo den sarrera-inpedantziari dagokio. CISPR 16-1-2 arauan, hainbat LISN mota ezberdintzen dira:

LISN mota	Lan frekuentzia banda
$50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$	9 kHz – 150 kHz ¹
$50 \Omega / 50 \mu\text{H}$	150 kHz – 30 MHz
$50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 1 \Omega)$	150 kHz – 108 MHz

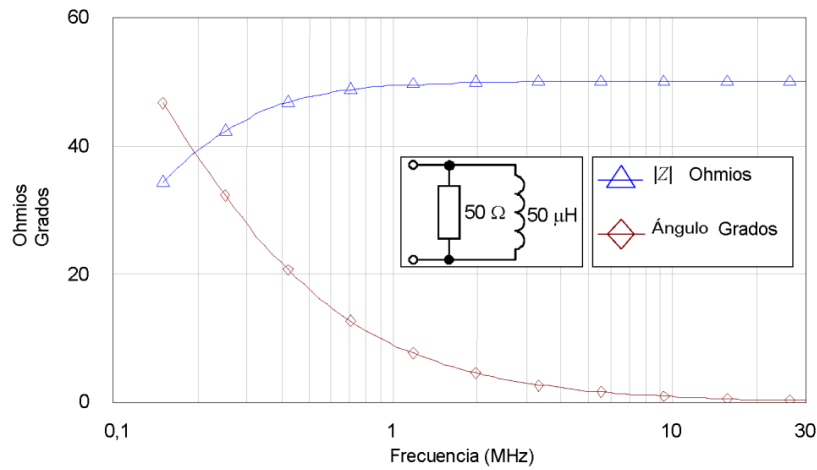
Taula 1: LISN mota ezberdinak eta lan frekuentzia banda

UNE-EN 55016-1-2 arauan, CISPR 16-1-2 arauaren baliokidea dena, LISN mota ezberdinak hauek EUTaren portuan izan behar duten inpedantziaren moduluaren eta fasearen grafiko biltzen dira:

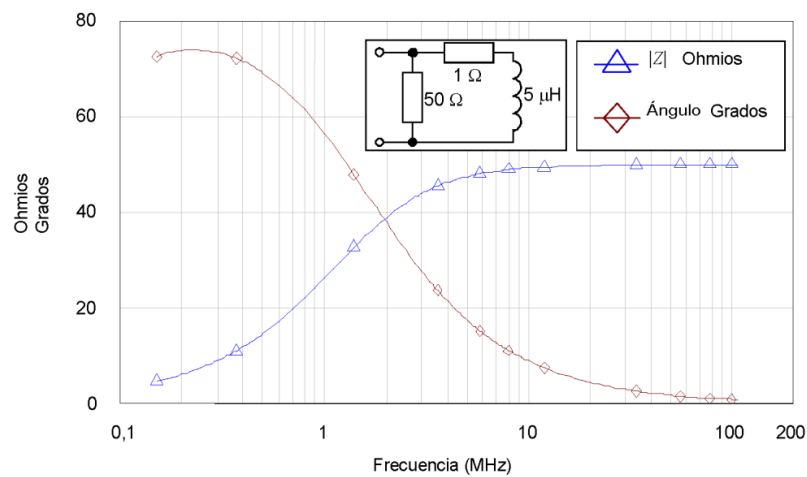
¹ LISNak, 150 kHz eta 30 MHz frekuentzia tartean, EUTaren portuan $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$ inpedantziaren balioak baditu, LISN mota hau 30 MHz arte erabiltzea baimenduta dago.



Grafikoa 2: $50\Omega/(50\mu H + 5\Omega)$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-impedantziaren modula eta fasea [2]

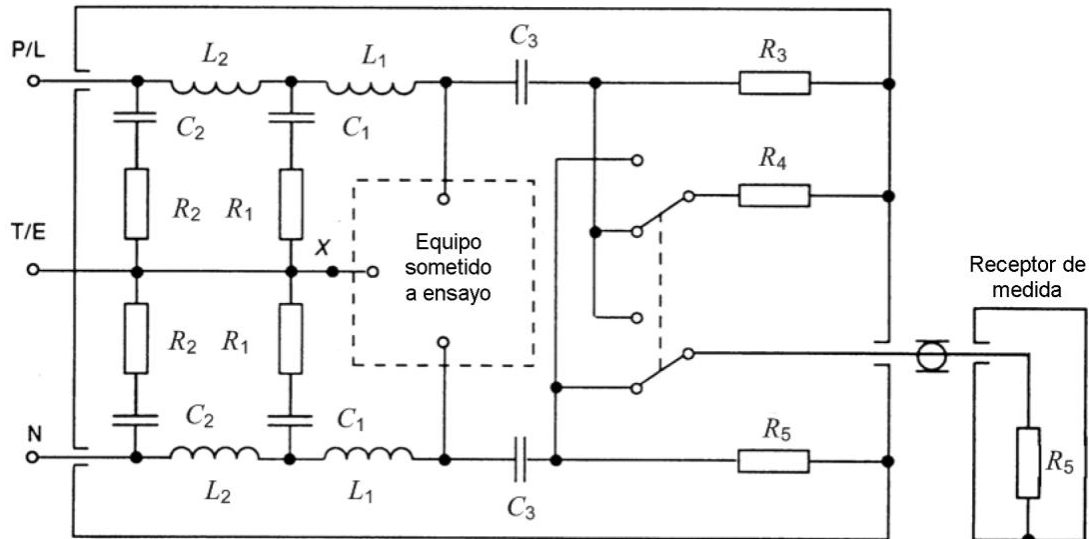


Grafikoa 3: $50\Omega / 50\mu H$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-impedantziaren modula eta fasea [2]



Grafikoa 4: $50\Omega/(50\mu H + 1\Omega)$ LISN motaren EUTaren portuan sarrera-impedantziaren modula eta fasea [2]

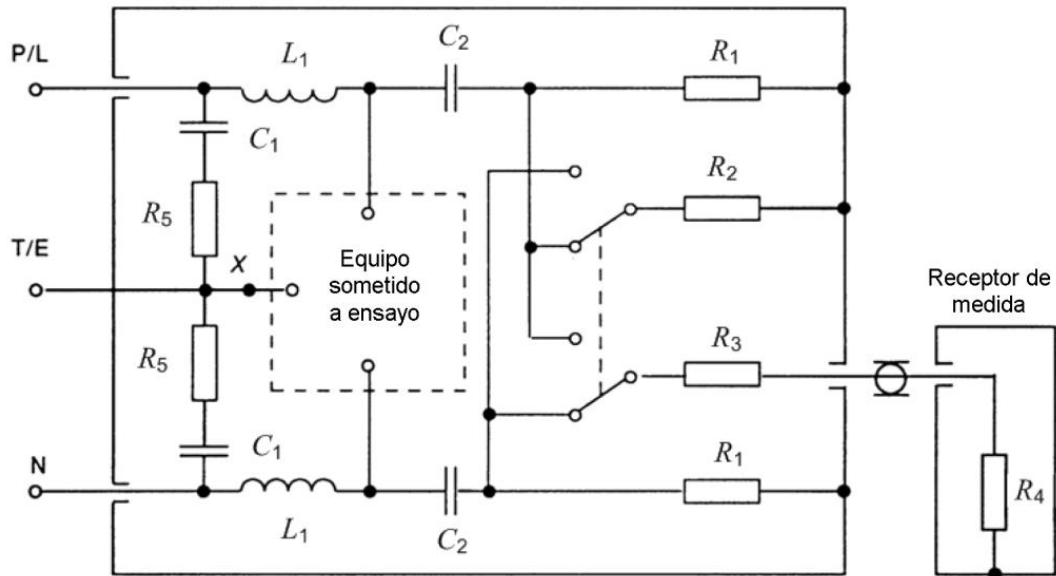
UNE-EN 55016-1-2 arauak, LISN mota ezberdinetarako zirkuitu elektrikoak proposatzen ditu. Zirkuitu hauetan LISN erreal batek izan behar dituen osagai elektronikoak jasotzen ditu:



Irudia 12: $50\ \Omega/(50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega)$ LISN motaren eskema elektronikoa [2]

Osagaia	Balioa
R1	$5\ \Omega$
R2	$10\ \Omega$
R3	$1\ 000\ \Omega$
R4	$50\ \Omega$
R5	$50\ \Omega$ (neurketa hargailuaren sarrera-inpedantzia)
C1	$8\ \mu\text{F}$
C2	$4\ \mu\text{F}$
C3	$0,25\ \mu\text{F}$
L1	$50\ \mu\text{H}$
L2	$250\ \mu\text{H}$

Taula 2: $50\ \Omega/(50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoen taula [2]



Irudia 13: $50 \Omega / 50 \mu\text{H}$ eta $50 \Omega (50 \mu\text{H} + 1 \Omega)$ LISN moten eskema elektronikoa [2]

Osagaia	Balioa
R1	1000Ω
R2	50Ω
R3	0Ω
R4	50Ω (neurketa hargailuaren sarrera-impedantzia)
R5	0Ω
C1	$1 \mu\text{F}$
C2	$0,1 \mu\text{F}$
L1	$50 \mu\text{H}$

Taula 3: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoen taula [2]

Osagaia	Balioa
R1	1000Ω
R2	50Ω
R3	0Ω
R4	50Ω (neurketa hargailuaren sarrera-impedantzia)
R5	1Ω
C1	$2 \mu\text{F}$ (minimo)
C2	$0,1 \mu\text{F}$
L1	$5 \mu\text{H}$

Taula 4: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 1 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoen taula [2]

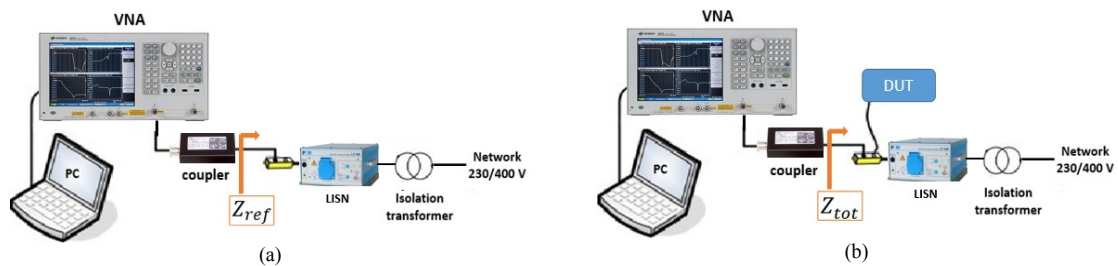
5.2. Neurketen Artearen Egoera

Nahiz eta lan hotan LISNen konportamendua simulazioen bitartez karakterizatu den, ezinbestekoa da neurketak ingurune erreal batean nola egiten diren jakitea, software bidezko parametrizazioak zuzenak izan daitezzen.

Emisioen neurketeki dagokionez, ikerketa talde ezberdinek ekipoen muntaia, neurrien prozedura eta neurketa parametro berdinak erabiltzen dituzte. Izan ere, dokumentu honetan aipatu den moduan, neurri hauen inguruko araudi oso zabala eta zorrotza existitzen da. Hau dela eta, gailuen inpedantzien neurketa, egindako neurketen ziurgabetasuna eta LISNen kalibrazioari buruzko artearen egoera jorratu da atal honetan:

5.2.1. M. A. O. Kharraz et al. [14]

“Characterization of the Input Impedance of Household Appliances in the FCC Frequency Band” artikuluan, 9 kHz eta 500 kHz bitarteko FCC bandan gailuen sarrera-inpedantzia neurtzen da LISN baten bitartez. Proposatzen den neurketa muntaia honako hau da:



Irudia 14: M. A. O. Kharraz et al. proposatutako neurketen muntaia [14]

Irudian ikusten den moduan, neurketak VNA (*Vector Network Analyzer*) edo sare analizatzaile batekin egiten dira, Keysight E5061B-arekin hain zuzen ere. LISNa, alde batetik, sare elektrikora konektatzen da eta, bestetik, akopladore kapazitibo baten bitartez (ZIV TABT- 2) sare analizatzaileara.

DUT-en (*Device Under Test*) -dokumentu honetan aipatu den EUTn baliokidea dena- inpedantzia neurtzeko sare analizatzailearekin bi neurketa egiten dira:

1. DUTa LISNera konektatu barik $S(1,1)$ parametroa neurtzen da, "Irudia 14"-an agertzen den "(a)" atalean jasotzen den moduan. Parametroa hau $S(1,1)_{ref}$ deitzen zaio.
2. DUTa LISNera konektatuta $S(1,1)$ parametroa berriro neurtzen da, Irudia 14"-an agertzen den "(b)" atalean jasotzen den moduan. Parametro berri hau $S(1,1)_{tot}$ moduan ezagutuko da.

Behin $S(1,1)$ parametroak neurtuta, S parametroen propietateak aplikatuz, Z_{ref} eta Z_{tot} inpedantzien balioak lortuko dira, "(a)" eta "(b)" egoerei dagokien inpedantziak, hurrenez hurren.²

$$Z_{ref} = 50 \cdot \frac{1 + S(1,1)_{ref}}{1 - S(1,1)_{ref}} \quad Z_{tot} = 50 \cdot \frac{1 + S(1,1)_{tot}}{1 - S(1,1)_{tot}}$$

Behin bi inpedantziak lortuta, hauen arteko paraleloa desegin behar da DUTaren inpedantzia lortu ahal izateko:

$$Z_{tot} = \frac{Z_{DUT} \cdot Z_{ref}}{Z_{DUT} + Z_{ref}} \quad \rightarrow \quad Z_{DUT} = \frac{Z_{ref} \cdot Z_{tot}}{Z_{ref} - Z_{tot}}$$

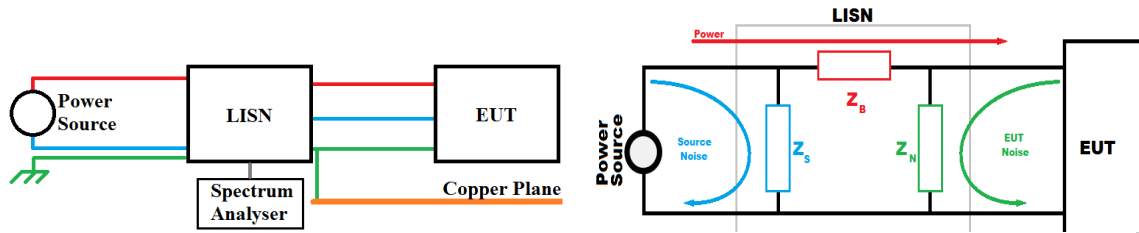
Z_{DUT} inpedantzia hori LISNarekin aztertu den gailuaren inpedantzia izango da.

5.2.2. A. S. de Beer et al. [15]

"Problematic Aspects when using a LISN for Converter EMI Characterisation" artikuluan, LISN bat EMI (*ElectroMagnetic Interference*) interferentzien neurketa egiteko erabiltzen denean, neurketa hauetan LISNak duen eragina kuantifikatu da.

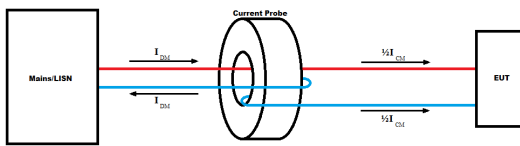
² 50 zenbakia VNAek duten Z_0 inpedantziaren balioari dagokio, 50 Ω dena.

Analisi hau, geroago emaitzen irudietan ikusi ahal izango den moduan, 10 kHz eta 30 MHz bitartean egin da, eta honako muntaiarekin gauzatu egin dira neurketak:

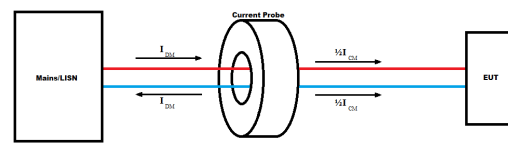


Irudia 15: LISNaren muntaiaren eskemak [15]

Aurreko irudian ikus daitekeenez, artikulu honetan ebaluatu nahi den LISNaren muntaia CISPR arau sortak xedatzen duen berdina da. Izan ere, ikerketaren helburua EMI neurketak egitean LISNak erabiltzeak, edo ez erabiltzeak, duen eragina kuantifikatzea da. Ikerketa hau egiteko, LISNaren muntaiari korrante zunda bat gehitu zaio, honekin LISNa erabilia, edo erabili gabe, EUTra iristen diren korrante interferentzia komunak eta diferentzialak ebaluatuko dira. Korrante zunden muntaia hau da:

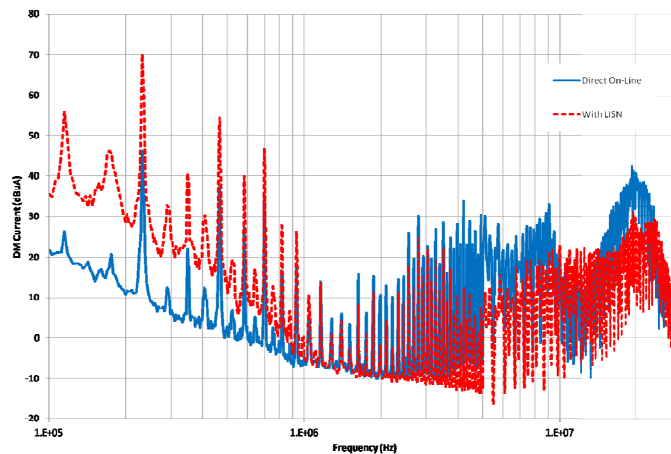


Irudia 16: Modu diferentzialeko neurketak [15]

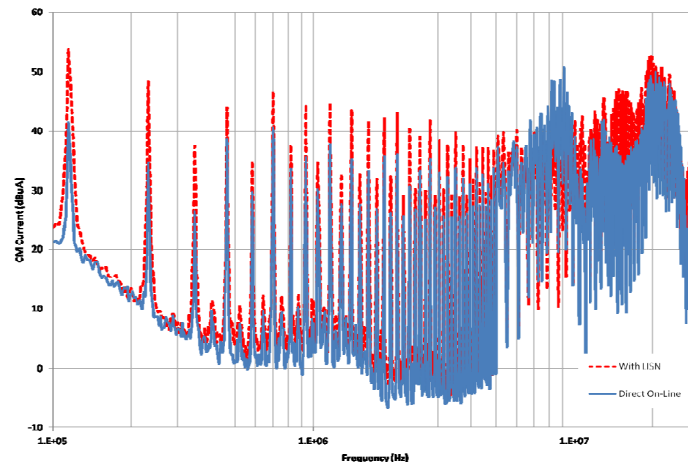


Irudia 17: Modu komunekeo neurketak [15]

Muntaia honekin, EMI interferentzien neurketan LISNak erabiltzeak, edo ez erabiltzeak, duen eragina honako emaitza hauetan islatu da:



Irudia 18: Modu diferentzialeko neurketen emaitzak



Irudia 19: Modu komunekeo neurketan emaitzak

5.2.3. C. M. Tsui et al. [16]

“Calibration of AMN/LISN at SCL” artikuluan LISN mota bat kalibratzeko garatutako metodoa azaltzen da. Ikerketa honetan, CISPR-16-1-2 arauak xedatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ inpedantzia duen LISN kalibratzeko metodoa azaltzen da, 9 kHz eta 30 MHz frekuentzia bitartean.

Kalibrazio hau egiteko, sarearen eta EUTaren portuetan BNC (*Bayonet Neill-Concelman*) konektoreak jartzea ezinbestekoa da, hau dela medio, ikerketa taldeak honako sare elektrikoaren entxufea eta BNCa duten konektoreak sortu ditu:

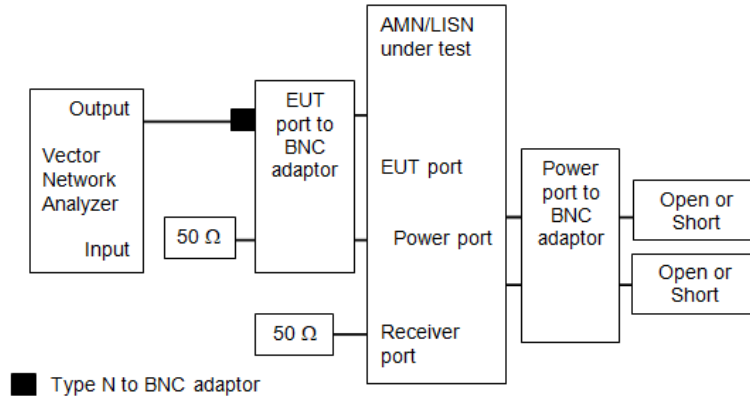


Irudia 20: Sare elektrikoaren entxufek eta BNC konektorea duten konektoreak [16]

Konektore hauekin, LISN bat karakterizatzeko behar diren parametroak neurtuko dira. Azalpenetan eta irudietan honako izenekin aipatuko dira: kable horia duen

konektorea “EUT port to BNC adaptor” izango da; eta entxufe konektorea duen kutxa, ordea, “Power port to BNC adaptor” izenarekin adieraziko da.

Lehendabizi, EUTaren portuan dagoen sarrera-impedantzia neurtzen da, honako muntaia honekin:



Irudia 21: EUTaren impedantzia neurtzeko muntaia [16]

Muntaia honekin bi neurketa egiten dira, lehengoan sarearen portuan (*Power Port*) zirkuitu laburra jartzen da, eta bigarrean zirkuitu irekia. Bi neurketa hauek kalibrazioa txostenean biltzen dira. Sare analizatzaileak, VNA, gordetako $S(1,1)$ parametroari honako eragiketa matematikoak aplikatzen zaizkio Z_{EUT_port} portuaren sarrera-impedantzia lortzeko:

$$Z_{EUT_port} = 50 \cdot \frac{1 + S(1,1)}{1 - S(1,1)}$$

$$|Z_{EUT_port}| = \left| 50 \cdot \frac{1 + S(1,1)}{1 - S(1,1)} \right| + \Delta Z_{adapter} + \Delta Z_{termination}$$

$$phase(Z_{EUT_port}) = phase\left(50 \cdot \frac{1 + S(1,1)}{1 - S(1,1)}\right) + \Delta P_{adapter}$$

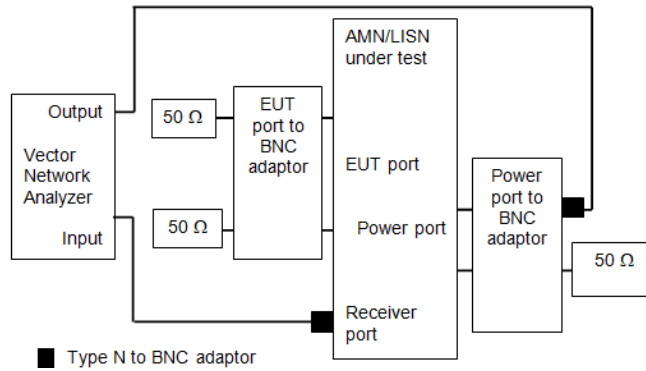
non:

$\Delta Z_{adapter}$ “EUT port to BNC adaptor”-ek eragiten duen.

$\Delta Z_{termination}$ neurgailuaren konektoreak sortzen duen.

$\Delta P_{adapter}$ “EUT port to BNC adaptor” konektorearen kableak sortutako fasearen atzerapena den.

Sare elektrikoaren portuaren eta neurgailuaren portuaren arteko isolamendua kuantifikatzeko honako muntaia hau erabili behar da:



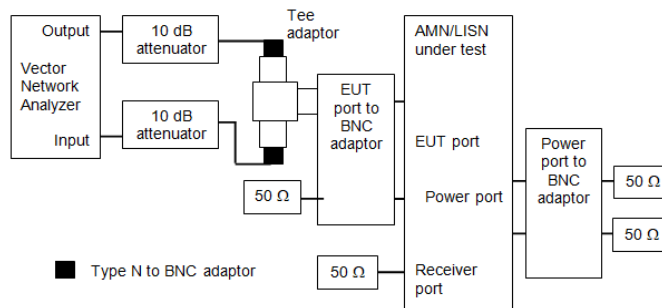
Irudia 22: Isolamendua neurtzeko muntaia [16]

Isolamenduaren balioak honako formularekin lortzen dira:

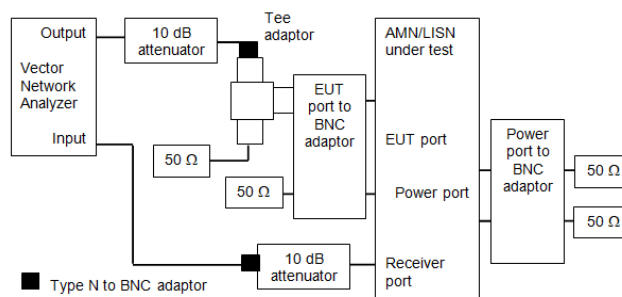
$$Isolation = -mag(S(2,1)) + A_{adaptor}$$

non $A_{adaptor}$ konektoreek sortzen duten atenuazioa den.

VDF (*Voltage Division Factor*) faktorea lortzeko bi neurketa egin behar dira:



Irudia 23: VDFa neurtzeko 1. Muntaia (set 1) [16]

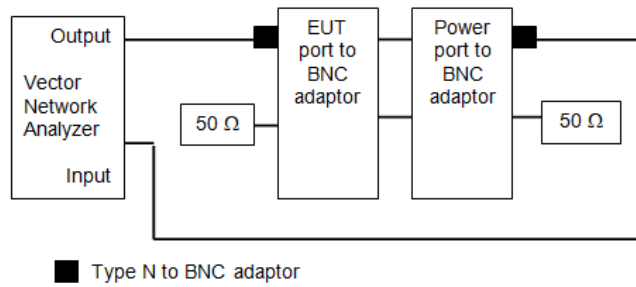


Irudia 24: VDFa neurtzeko 2. Muntaia (set 2) [16]

VDFaren balioak lortzeko honako formula matematiko hau aplikatu behar da bi muntaien neurketekin:

$$VDF = \text{mag}(S(2,1)_{\text{set2}}) - \text{mag}(S(2,1)_{\text{set1}})$$

Amaitzeko, konektore guztiek sortzen duten atenuazioa kalkulatzeko hurrengo muntaietan S(2,1) parametroa erabiltzen da:



Irudia 25: Konektoreek sortutako atenuazioa neurtzeko muntaiak

6. AUKEREN ANALISIA

GrAL honetan proposatutako helburuak lortzeko hainbat aukera tekniko kontuan hartu ziren. Atal honetan zehar aukera tekniko hauek aztertuko dira, bat hautatuko da eta aukeraketaren zergatia azalduko da.

Zirkuitu elektronikoak era profesional batean simulatu dezaketen software programen bilaketa egin ostean bi nagusi aurkitu dira: OrCAD PSpice eta ADS Keysight. Programa bi hauen ezaugarriak hauek dira:

6.1. OrCAD PSpice [17]

OrCAD programa PSpice markaren simulazio pakete bat da. Arrazoi sinple bat dela eta OrCAD zirkuituen simulazioan programarik ezagunena da: eskema elektronikoaren simulazioetarako erraminta unibertsala da. *OrCAD Capture CIS*-ekin

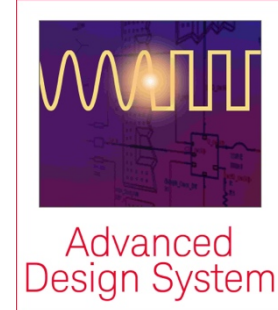
(*Component Information System*), osagaien informazioa interneten dauden datu-base zentralizatuetatik atzi daiteke. Beste alde batetik, *Interchange Architecture* erramintan diseinuen zeregin guztiak ingurune berean konbinatzen dira. *OrCAD Capture*-k interfaze intuitiboa dauka eta, era eskematikoan, industriaren estandarren ezaugarriak eskaintzen du. *OrCAD Capture*-ek egiten duen osagaien datuen kudeaketa dela eta, egiten diren simulazioak era oso efizientean burutzen dira.



OrCAD programa paketearekin hainbat simulazio egin daitezke, haien artean eskema unibertsalak sortzea (PCB, FPGA edo CPLD, bloke diagramak) edota zirkuitu eskematikoak Verilog edo VHDL bidez programatzea. Gainera, zirkuitu elektronikoaren S parametroak eta tentsio eta korrante simulazioak ere egin ditzake, GrAL hau aurrera eramateko ezinbestekoak direnak.

6.2. ADS Keysight [18]

Keysight Technologies enpresaren ADS (*Advanced Design System*) programa telekomunikazio gailu ugariren diseinua egiteko programa da; hauen artean osziladoreak, amplifikadoreak, banda zabaleko sareak, irrati komunikazio sistemak, sateliteak, etab. daudelarik.



Irudia 27: ADSren logoa

Software honek osagaien liburutegi zabala du, gainera, mota guztietako simulazioetan zehaztasun handiko kalkuluak egiten ditu; hau dela eta, emaitzak zirkuituen konportamendua era fidagarrian islatzen du. Etengabeko simulazioen bidez eta zirkuituen analisirako tresna batzuen laguntzaz, zirkuituen hobekuntza eta optimizazioa ahalbidetzen du, erabiltzailearen beharren arabera konfiguratu daitekeena. ADSeK simulazio algoritmoak eta konbergentzia aurreratuen errutinak ere implementatzen ditu, antzeko beste programa batzuekin alderatuta simulazio-denborak era nabarmenean murriztuz.

Programa honek, GrAL hau egiteko ezinbestekoak diren simulazio erramintak implementatzen ditu; S parametroen, korrante eta tentsioen simulazioak, hain zuzen ere.

6.3. Aukeren analisiaren eraginkortasun taula

Atal honetan, simulazio programa bat aukeratzeko egin den eraginkortasun analisia agertzen da. Ikerketa lan honetan egingo diren simulazioak egiteko erabiliko den programa aukeratzeko hurrengo irizpideak erabili dira:

- **Programaren ezagutza (10 puntu):** GrAL hau jorratuko duen junior ikertzaileak programa hauen inguruan duen ezagutza ebaluatuko da.
- **Programa edukitzea (2 puntu):** Junior eta senior ikertzaileek programa hau beraien ordenagailuetan jadanik instalatuta duten puntuatuko da (puntu bat programa hau instalatuta duten ikertzaile bakoitzeko).

- **User friendly (3 puntu):** Simulazio programa erabiltzeko erraztasuna ebaluatzen da atal honetan.
- **TSR taldearen zirkuituak (5 puntu):** TSR taldeak dituen zirkuituak zein programetan inplementatuta dituen puntuatuko da hemen.

Aukeraketa egiteko irizpideak zeintzuk izango diren azalduta, bi aukerek atal bakoitzean lortutako puntuazioaren taula egin da:

Ebaluatuko diren item-ak	Programaren ezagutza (10 puntu)	Programa edukitzea (2 puntu)	User friendly (3 puntu)	TSR taldearen zirkuituak (5 puntu)	Emaitza (20 puntutatik)
OrCAD PSpice	5	0	2	0	7
ADS Keysight	8	2	1	5	16

Taula 5: Aukeren analisiaren eraginkortasun taula

6.4. Hautatutako aukeraren arrazoiketa

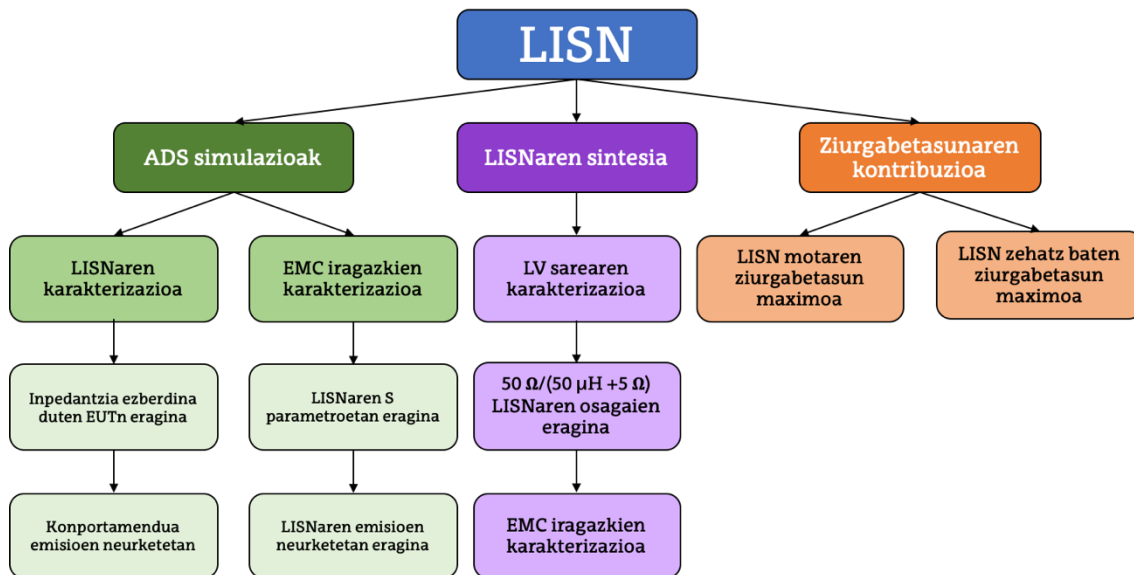
GrAL honetan jorratutako lana egiteko ADS Keysight programa aukeratu egin da. Hautaketa hau egitearen arrazoi nagusiak hauek diralarik:

- ADS programaren erabileraren ezagutza sakonagoa izatea. Programa hau Telekomunikazio Teknologiaren Ingeniaritzako Graduako azken kurtsoetan oso erabilia da eta honen erabilpenean trebetasuna handiagoa da.
- Aurreko puntuan azaldutakoa dela eta, junior eta senior ikertzaileek programa hau huen ordenagailuetan instalatuta daukate.
- ADS programak, era oso intuitiboan, zirkuitu elektronikoaren optimizazioa eta afinazioa (*tuning*) ahalbidetzen du.
- TSR taldeak zirkuitu elektroniko askoren eskema elektrikoak ADS inplementatuta ditu jadanik. GrAL honetan existitzen diren zirkuitu hauek berrerabiliko dira, eta proiektuan zehar sortutakoak TSR taldeari emango zaizkio.

7. PROPOSATUTAKO IRTENBIDEAREN DESKRIBAPENA

Proiektuaren atal honetan GrAL-ean xedatutako helburuak jorrazteko erabili den prozedura azalduko da. Azalpenak bete behar diren helburuen arabera banatuta dago. Dena dela, hiru atal nagusi bereiz daitezke: ADS programarekin egindako simulazioak, LISNen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko duen euskarri digitala eta, azkenik, LISN berri baten eskema elektronikoa proposatzen duen atala.

Atal honetan jorrazteko diren gaien eskema honako hau da:



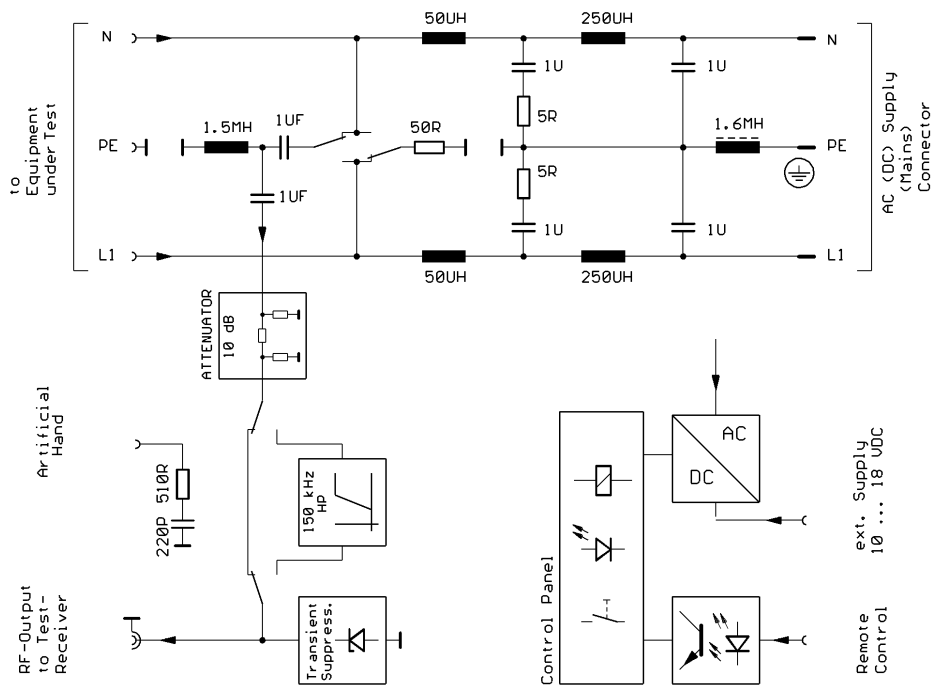
Irudia 28: "7." puntuan jorrazteko diren gaien eskema

7.1. ADS bidezko simulazioak

7.1.1. LISNaren karakterizazioa

Lehendabizi, helburuen lehenengo puntuaren irtenbidea azalduko da, hots, "Software bidezko simulazioen bidez, TSR ikerketa taldeak duen *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNaren, edo baliokidearen, S parametroen bidezko konportamenduaren karakterizazioa egitea".

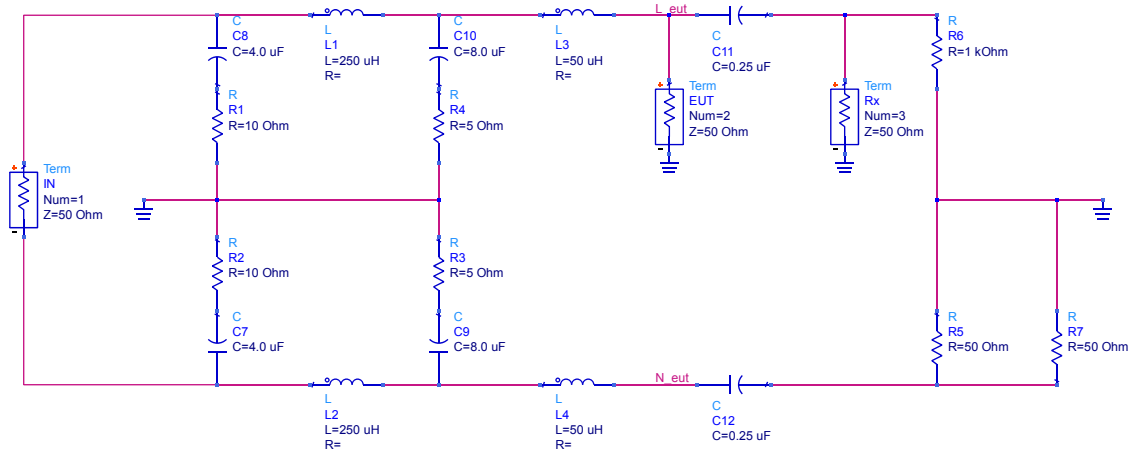
R&S@ENV216 LISNa karakterizatzen hasteko bere eskema elektrikoa lortu behar da. Rohde & Schwarz markak, LISN honen eskuliburuan, honako zirkuitu hau jasotzen du:



Irudia 29: R&S@ENV216 LISNaren zirkuitu elektronikoa [28]

Irudian ikus daitekeen moduan, *R&S@ENV216* LISNaren zirkuituaren osagai elektronikoen hainbat zehaztapen ez dira agertzen. Hau dela eta, CISPR 16-1-2 arauak bildutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren eskema erabiliko da (txosten honen "Irudia 12"-an agertzen dena). Izan ere, *R&S@ENV216* LISNa CISPR 16-1-2 arauko mota honetan sailkatzen da eta, araei jarraituz, antzeko konportamendua izan behar du.

50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISNaren zirkuitua ADSen implementatzen da, honako hau lortuz:



Irudia 30: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISNa ADSn implementatua

Irudian ikus daitekeen moduan, "Term" delako ADS programaren osagai batzuk gehitu zaizkio, hauen inpedantzia 50 Ω-ekoa da eta sare analizatzaile baten terminalen antzera funtzionatzen dute. Hauekin zirkuituaren S parametroak lortuko dira. Hauek LISNaren 3 portuetan kokatzen dira: 1. (IN) sare elektrikoaren portuari dagokio, 2. (EUT) analizatu nahi den gailuaren portuan kokatzen da eta 3. (Rx) neurgailuaren portura, gehienetan sare analizatzaile bat, espektro analizatzaile bat edo osziloskopio bat izango dena.

Portuaren zenb.	Portuaren siglak	Portuaren konexioa
1	IN	Sare elektrikoa
2	EUT	EUT
3	Rx	Neurgailura

Taula 6: LISNaren portuen eta ADSko eskematikoaren arteko erlazioa

LISNaren konportamendua karakterizatzeko S parametririk garrantzitsuenak honako hauek dira:

- 3 portuetan sortzen den islapena kontuan hartzen dutenak ($S(1,1)$, $S(2,2)$ eta $S(3,3)$). Hauek portu bakoitzean dagoen sarrera-inpedantzia karakterizatzeko erabiliko dira: Z_{IN_port} , Z_{EUT_port} eta Z_{RX_port}
- IN portutik EUTaren porturako transferentzia funtzioa ($S(2,1)$ edo $S_{EUT,IN}$), sare elektrikotik EUTra pasatzen diren interferentziak ebaluatzeko erabiliko dena.
- EUTaren portutik Rx porturako transferentzia funtzioa ($S(3,2)$ edo $S_{RX,EUT}$), EUTak sortutako emisioak neurgailura pasatzerakoan jasaten dituzten atenuazioa eta desfasea kuantifikatzeko.

- IN portutik Rx porturako transferentzia funtzioa ($S(3,1)$ edo $S_{RX,IN}$), sare elektrikoan dauden perturbazioak neurgailura iristen diren konprobatzeko.

Portuen arteko S parametroak ($S_{EUT,IN}$, $S_{RX,EUT}$ eta $S_{RX,IN}$) eskala logaritmikora pasatuz gero, zuzenean portuen arteko transferentzia kurbak lortzen dira. Portuen sarrera-impedantzia lortzeko, ordea, S parametroen propietateak aplikatu beharko dira, adibidez, EUTaren porturako ekuazio hau erabiliz lortzen da:³

$$Z_{EUT,port} = Z_0 \frac{1 + S(2,2)}{1 - S(2,2)} = 50 \frac{1 + S(2,2)}{1 - S(2,2)}$$

Portu ezberdinen sarrera-impedantzia lortzeko, portu horri lotutako $S(x,x)$ parametroa aurreko ekuazioan ordezkatuz lortuko da.

Simulazioak egiteko, zirkuituen osagaiak definitzeaz gain, simulazioaren frekuentzia tartea ere konfiguratu behar da. Simulazio hauek egiteko 0 Hz eta 30 MHz bitarteko frekuentzia banda aukeratu egin da, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ motako LISNa 30 MHz arte neurketak egiteko baimenduta dagoelako. Dena dela, erresoluzio ezberdinak dituzten bi tarte aukeratu dira. 0 Hz eta 500 kHz bitartean simulazioen kalkuluak 500 Hz-en multiploetan egingo dira, 1001 lagin lortuz. 500 kHz eta 30 MHz bitartean simulazioen kalkuluak 5 kHz-en multiploetan egiteko konfiguratu da, 5900 lagin lortuz. Lagintze berezi hau, datuak, frekuentziaren ardatzean, eskala logaritmikoa duten grafikoetan aurkeztuko direlako aukeratu da. Metodo honekin frekuentzia baxuetan grafikoaren bereizmena handia izango da.

Atal honetan, "7.1.1 LISNaren karakterizazioa" puntuan, erabilitako LISNaren zirkuitua ADS programan inplementatzeaz gain, egonkortze-sarearen zirkuituarekin ADS programako konponentea sortu da. Honen erabilera "IV. ERANSKINA: ERABILTZAILA GIDA" eranskinean azalduta dago.

³ Z_0 impedantzia karakteristikoa 50Ω -ekoa denez, zuzenean ordezka daiteke.

7.1.2. Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa

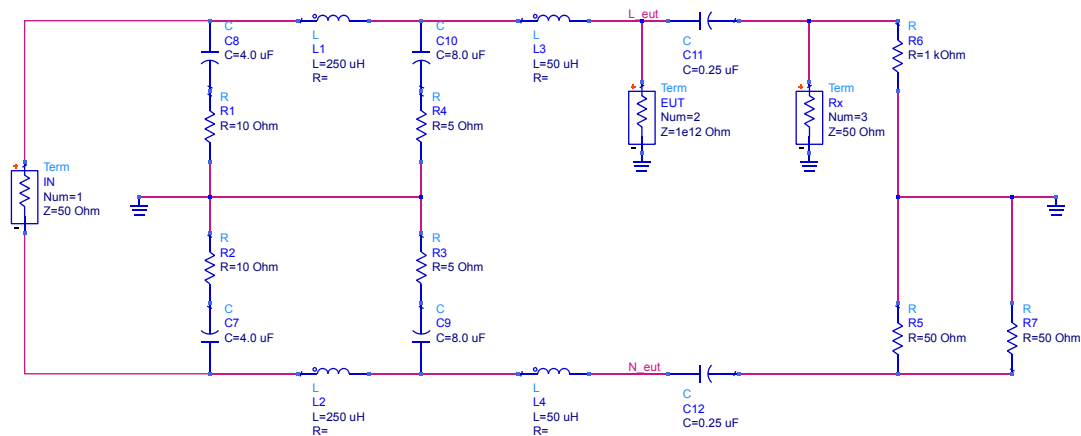
Atal honen xedea, inpedantzia balio ezberdinak duten EUTak erabiltzerakoan LISNak S parametroetan, eta hortaz portu guztien sarrera-inpedantzian, jasaten duen aldakuntza kuantifikatzea da.

Atal hau jorratzeko, "Irudia 30"-an agertzen den zirkuituaren bigarren terminalaren, "EUT" terminala inpedantzia aldatuz lortuko da. Inpedantziaren hauek 5 Ω eta 50 Ω bitarteko balioak izango dituzte, eta zirkuitu irekia ($\infty \Omega$) eta zirkuitu laburra (0 Ω) muturreko egoerak ere simulatuko dira. Azkenengo hauek era egokian simulatzeko inpedantzia balio oso handiak eta oso txikiak erabiliko dira, ADSn S parametroak lortzeko "Term" osagaiak 0 eta ∞ inpedantzien balioak onartzen ez dituelako. Hauek izango dira, beraz, erabiliko diren EUTn inpedantziaren balio guztiak:

Z_{EUT}
1e12 Ω ($\infty \Omega$)
50 Ω
40 Ω
30 Ω
20 Ω
10 Ω
5 Ω
1e-6 Ω (0 Ω)
1e-12 Ω (0 Ω)

Taula 7: Z_{EUT} EUTn inpedantzien balioekin

Simulatuko den zirkuitua hurrengoa izango da:



Irudia 31: EUT inpedantzia ezberdinen eragina karakterizatzeko LISN zirkuituaren eskema elektrikoa

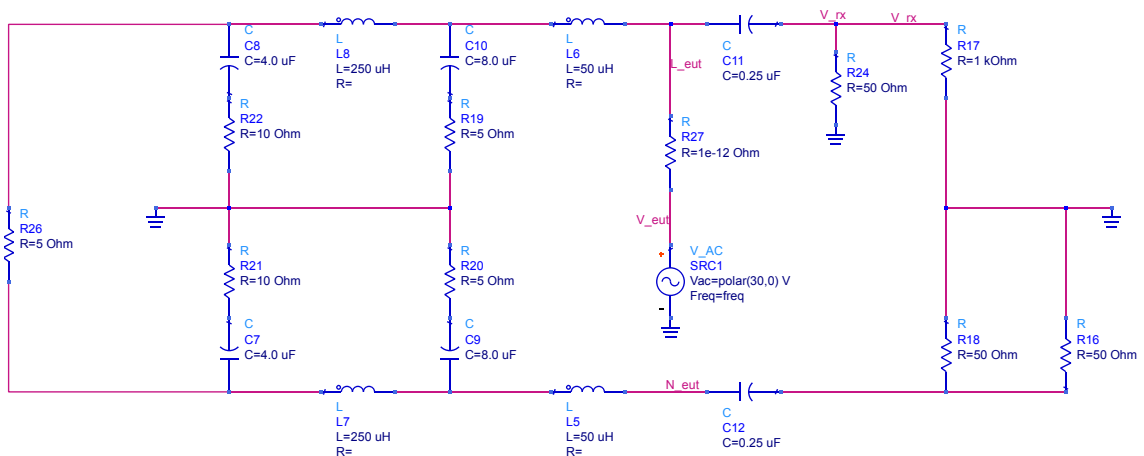
Zirkuitu honen bitartez, hurrengo parametroak simulatuko dira: $S_{EUT,IN}$, $S_{RX,EUT}$, $S_{RX,IN}$, $Z_{IN,port}$ eta $Z_{RX,port}$. Lortutako parametro bakoitzaren balioekin bi grafiko sortuko dira (bat parametroen moduluarekin eta beste bat parametroen fasearekin) EUT ezberdinek LISNetan duten eragina era intuitiboagoan ulertu ahal izateko.

Simulazioen frekuentzia tartea, aurreko atalean deskribatutako berdina izango da: 0 Hz eta 500 kHz artean 500 Hz-en frekuentziaren multiploetan laginduko da eta 500 kHz eta 30 MHz bitartean, berriz, 5 kHz-en multiploetan.

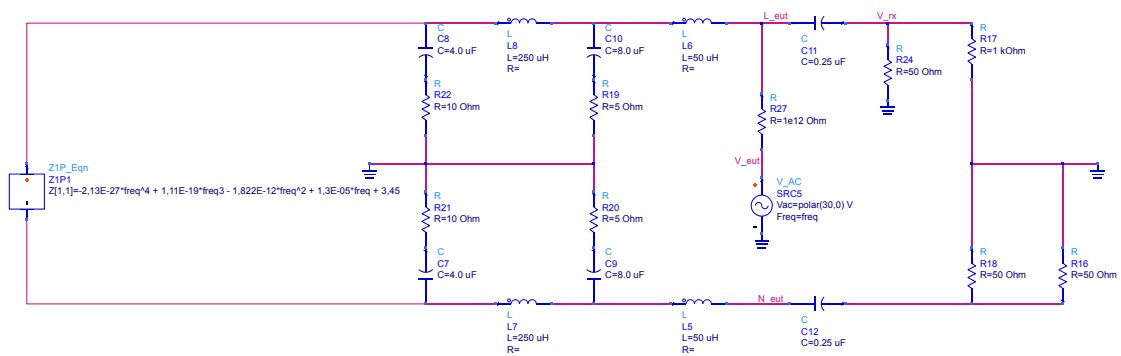
7.1.3. LISNaren konportamendua emisioen neurketan

Atal honetan, helburuen bigarren puntua jorratzeko metodologia azalduko da, hots, "Simulazioen bitartez, *RES@ENV216 Two-Line V-Network* LISNak, edo baliokideak, emisio elektromagnetikoen aurrean duen erantzuna kuantifikatzea".

50 Ω / (50 μ H + 5 Ω) LISNa emisio elektromagnetikoen elkarrekintzan duen konportamendua karakterizatzeko, "Irudia 30"-an agertzen den zirkuitua oinarri hartuta, honako bi eskema elektriko hauek erabili egin dira:



Irudia 32: EUTn emisioak kuantifikatzeko eskema elektronikoa, sarearen inpedantzia ktea. delarik



Irudia 33: EUTn emisioak kuantifikatzeko eskema elektronikoa, sarearen inpedantzia aldakorra delarik

Simulazio hauek egiteko bi eskema proposatzen dira; sareak emisioen neurketan duen eragina aztertzeko asmoz. “Irudia 32”-an sarearen inpedantzia 5 Ω-ekoa da (R26 osagaia); izan ere, LV sare elektrikoaren inpedantzia oso txikia da. “Irudia 33”-an, ordea, ADSren “Z1P1” osagaia erabili da sarearen inpedantzia simulatzeko, honen bitartez, frekuentziaren menpeko funtzio polinomikoekin inpedantziak sortu ahal direlako, eta sarearen balio errealak dituen ekuazioa erabili da (balio hau lortzeko prozedura txosten honen “7.2.1” atalean jorratuko da).

EUTi dagokionez, aurreko ataletan egindako moduan, “Taula 7”-an bildutako balio ezberdinekin egingo dira simulazioak, emisioen neurketan EUTn inpedantzien balioa duten eragina analizatzeko.

Simulazio hauek 0 Hz eta 500 kHz frekuentzia tartean egingo dira, 100 Hz-eko bereizmenarekin, 5001 lagin lortuko dira.

Simulazio hauen bitartez, LISNaren EUT portutik Rx porturako transferentzia funtzioak karakterizatuko dira, hau dela medio, eskema elektrikoan agertzen diren V_{EUT} eta V_{RX} tentsioen parametroak simulatu eta gorde beharko dira. Transferentzia kurba hauek eskala logaritmikoan egongo dira, hau dela eta, honako formula aplikatuko da:

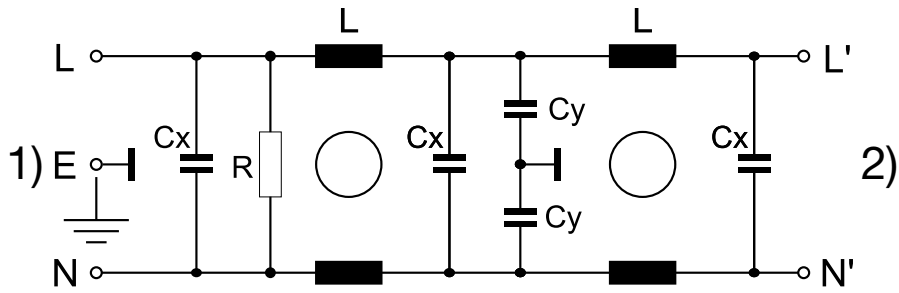
$$|H(f)| = -20\log|V_{EUT}/V_{RX}|$$

7.1.4. EMC iragazki komertzialen karakterizazioa

Atal honetan helburuen hirugarren puntua jorratuko da, "Software bidezko simulazioak erabiliz, EMC iragazki komertzial batzuen karakterizazioa egitea" proposatzen duena. Atal honen xedea, EMC iragazki batzuen karakterizazioa egiteaz gain, EMC iragazki hauek - frekuentzian zehar inpedantzia aldakorra dutela jakinik - LISNera konektatzerakoan hauek duten eragina kuantifikatzea izango da.

Hau jorratzeko, EMC iragazki komertzial batzuk aukeratu egin dira, SCHURTER fabrikatzailearen 5500.2044, 5500.2052, 5500.2055 eta 5500.2060 erreferentzia duten iragazkiak, hain zuzen ere. Aukeraketa hau hiru arrazoi nagusitan oinarritzen da: aipatutako SCHURTER markaren lau iragazkiak TSR laborategian daude, hauen zirkuituak fabrikatzailearen *Data Sheet*-etan daude eta zirkuitu hauen ezaugarrien neurketak egin dira [19], simulazioak ondo egin direla egiaztatzeko baliagarriak izango direnak.

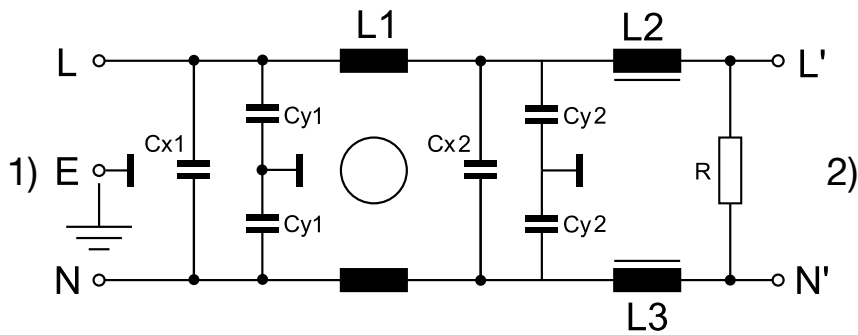
Iragazki hauen analisiarekin hasteko, beraien zirkuitu elektronikoak lortu behar dira. Eskematiko hauek 3 datu fitxa ezberdinetan daude [20] [21] [22].



Irudia 34: SCHURTER 5500.2044 iragazkiaren zirkuitu elektronikoa [20]

Osagaiak	Balioak
L	0,8 mH
Cx	100 nF
Cy	2,2 nF
R	0,5 MΩ

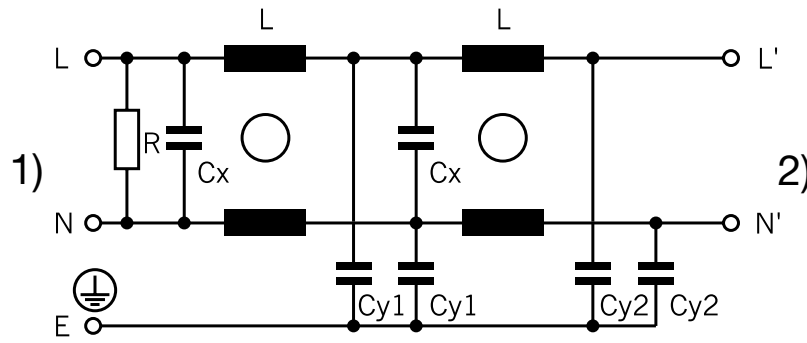
Taula 8: SCHURTER 5500.2044 iragazkiaren zirkuitu elektronikoaren osagaiak [20]



Irudia 35: SCHURTER 5500.2052 eta 5500.2055 iragazkien zirkuitu elektronikoak [21]

Osagaiak	Balioak	
	5500.2052	5500.2055
L1	10 mH	6 mH
L2	0,4 mH	0,5 mH
L3	0,4 mH	-
Cx1	0,1 μF	0,1 μF
Cx2	0,47 μF	0,68 μF
Cy1	1,5 nF	10 nF
Cy2	1 nF	4,7 nF
R	1 MΩ	1 MΩ

Taula 9: SCHURTER 5500.2052 eta 5500.2055 iragazkien zirkuitu elektronikoaren osagaiak [21]



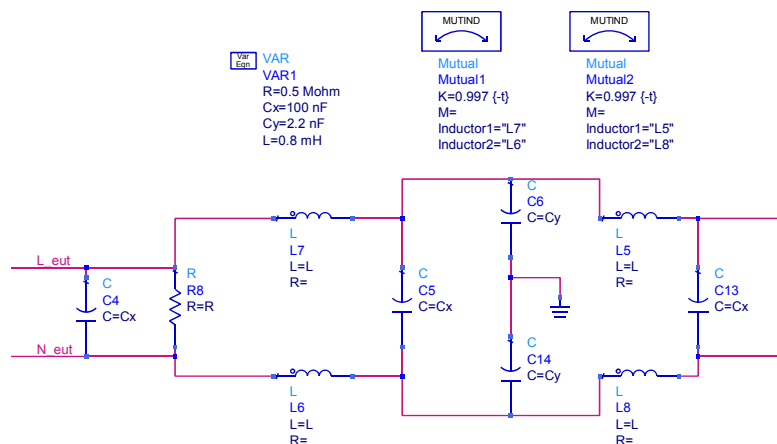
Irudia 36: SCHURTER 5500.2060 iragazkiaren zirkuitu elektronikoa [22]

Osagaiak	Balioak
L	0,8 mH
Cx	0,1 μ F
Cy1	1,5 nF
Cy2	1 nF
R	1 M Ω

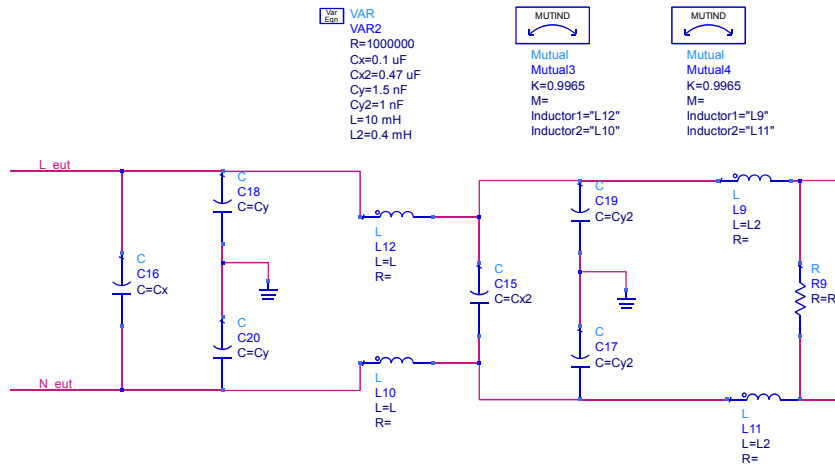
Taula 10: SCHURTER 5500.2060 iragazkiaren zirkuitu elektronikoaren osagaiak [22]

Zirkuitu hauek nola erabiltzen diren hobeto ulertzeko, argitu behar dago "Irudia 34", "Irudia 35" eta "Irudia 36" agertzen diren "1)" eta "2)" ikurrek, sare elektrikoaren portua eta kargen portua adierazten dute, hurrenez hurren. Hau dela eta, zirkuitu hauen funtzionamendua ez da simetrikoa eta LV sarea "1)" portuan konektatu behar da eta karga elektrikoak "2)" portura.

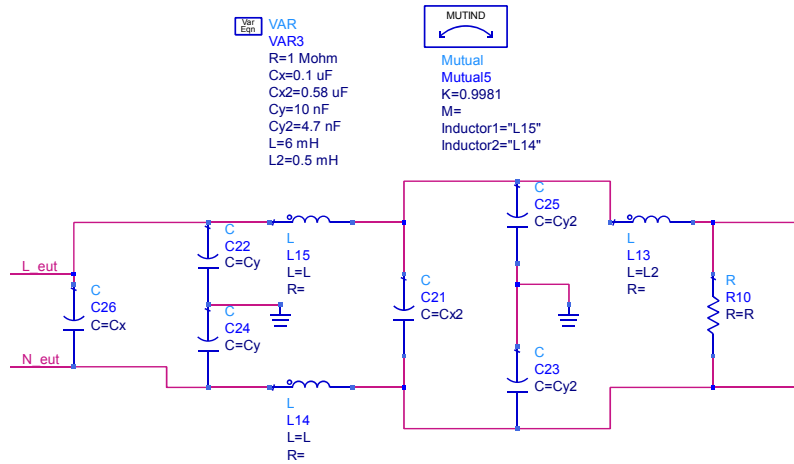
ADSen implementatutako zirkuituak honako hauek izango dira:



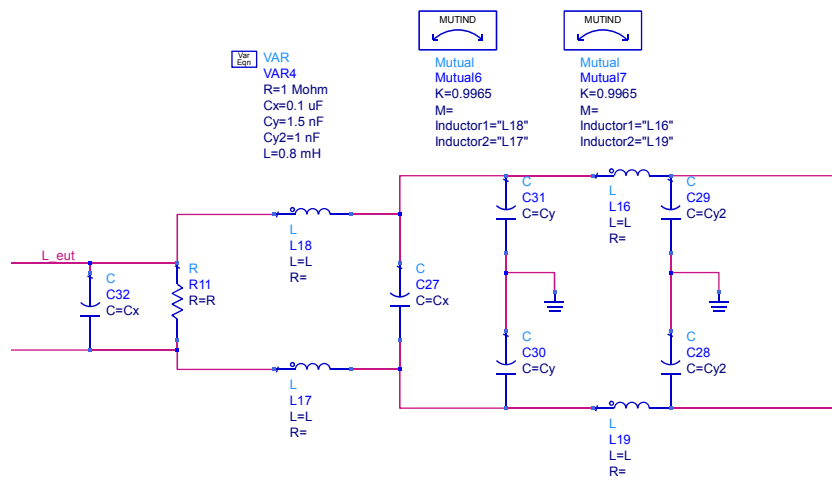
Irudia 37: ADSen implementatutako 5500.2044 iragazkiaren zirkuitua



Irudia 38: ADSen implementatutako 5500.2052 iragazkiaren zirkuitua



Irudia 39: ADSen implementatutako 5500.2055 iragazkiaren zirkuitua



Irudia 40: ADSen implementatutako 5500.2060 iragazkiaren zirkuitua

Zirkuitu hauekin bi simulazio mota ezberdin egingo dira, EMC iragazkien konportamendua bakarrik aztertzeko..

- “Term” osagai bakar batekin zirkuituen “1)” portura konektatua, (sarearen portua) sarrera-inpedantzia simulatzea, “2)” portua (kargaren portua) zirkuitu irekian utzita.
- “Term” osagai bi erabilia, bi portuetan konektatuta, zirkuituaren transferentzia funtzioak simulatzea, $S(1,2)$ eta $S(2,1)$ parametroen bidez.

Simulazio hauek 0 Hz eta 500 kHz frekuentzia tartean egingo dira, 100 Hz-eko bereizmenarekin, 5001 lagin lortuko dira.

7.1.4.1. EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina

Behin EMC iragazkien konportamendua karakterizatuta dagoela, egonkortze-sare hauek LISNaren konportamenduan duten eragina aztertuko da. Jarraituko den prozedura, txosten honen “7.1.2” atalean azaldutakoaren antzekoa izango da. Hau lortzeko, honako simulazio hauek egingo dira:

- EMC iragazkien “1)” portua LISNaren EUTaren portuan konektatuta, eta “2)” portua “Term” terminal batetara, LISNaren konportamendua hurrengo parametroetan ebaluatzeko: $S_{EUT,IN}$, $S_{RX,EUT}$, $S_{RX,IN}$, $Z_{IN,port}$ eta $Z_{RX,port}$.

Parametro hauek lortzeko, EMC iragazkien zirkuituak LISNaren zirkuitura konektatu behar da. Hau lortzeko, zirkuituetan “L_eut” eta “N_eut” etiketak duten konexio puntuak zirkuitu laburtzen dira eta EMC iragazkien “2)” portuan EUT “Term - EUT” terminala jarri behar da.

Simulazioen frekuentzia tartea, aurreko atalean deskribatutako berdina izango da: 0 Hz eta 500 kHz artean 500 Hz-en frekuentziaren multiploetan laginduko da eta 500 kHz eta 30 MHz bitartean, berriz, 5 kHz-en multiploetan.

7.1.4.2. EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina

Atal honetan, GrAL honen "7.1.3" atalean jorratu den moduan, EMC iragazki ezberdinek LISNaren emisioen neurketan duten eragina kuantifikatuko da.

Parametro hauek lortzeko, EMC iragazkien zirkuituak LISNaren zirkuitura konektatu beharko dira. Hau lortzeko, zirkuituetan "L_eut" eta "N_eut" etiketak duten konexio puntuak zirkuitu laburtzen dira eta EMC iragazkien "2)" portuan tentsio sorgailua jarriko da. Emisioen transferentzia funtzioak lortzeko, V_{eut} (EMC iragazkien "2)" portuan dagoen tentsioa izango dena) eta V_{rx} (LISNaren neurgailuaren portuan dagoena) tentsio parametroak zatitu beharko dira transferentzia funtzioak lortzeko. Hurrengo formula honen bitartez eskala logaritmikora pasatuko da:

$$|H(f)| = -20\log|V_{EUT}/V_{Rx}|$$

"7.1.3" atalean egin den moduan, simulazio puntuak 0 Hz eta 500 kHz bitartean egingo dira, 100 Hz-ko bereizmenarekin, 5001 puntutako simulazioak lortuko direlarik.

Atal honetan, "7.1.4 EMC iragazki komertzialen karakterizazioa" puntuan, erabilitako EMC iragazkiak ADS programan inplementatzeaz gain, iragazkien zirkuituekin ADS programako konponenteak sortu dira. Hauen erabilera "IV. ERANSKINA: ERABILTZAILA GIDA" eranskinean azalduta dago.

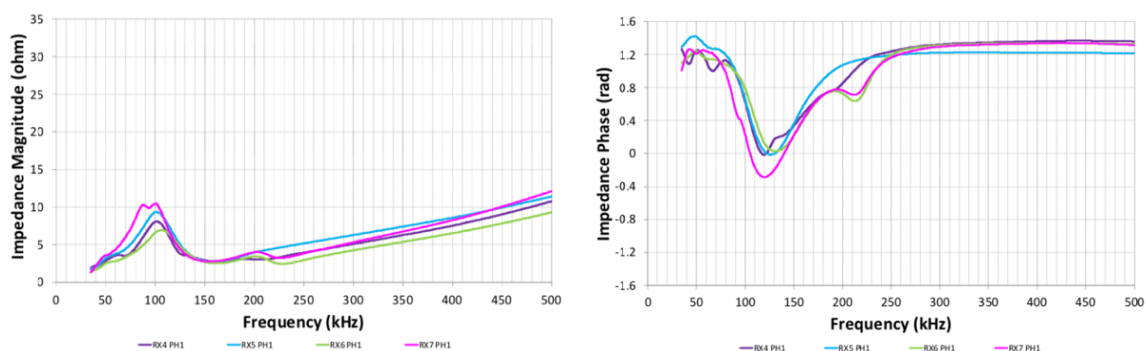
7.2. LISNaren sintesia

Atal honen bitartez, LISN berri bat sortzeko eman diren pausoak azalduko dira. Zentzu honetan egindako lanik garrantzitsuenak hauek izango litzateke: LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa, CISPR 16-1-2 arauaren $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan eta sare elektrikoaren ezaugarriak dituen LISN berriaren eskema elektrikoa.

7.2.1. LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa

Aipatu den moduan, atal honen helburua sare elektrikoaren ezaugarriak dituen LISN bat sortzea da, proiektu osoan zehar azaldutako moduan, LISNak, EUTaren portuan, behe-tentsioko sare elektrikoaren inpedantzia simulatzeko sortu direlako, besteak beste. Sare elektrikoaren propietate hauek aztertzeko, TSR taldeak LV sare elektrikoan egindako inpedantziaren neurketak oinarri moduan hartu dira [10].

“2.1” atalean azaldu den moduan, sarearen propietateak nahiko aldakorrek dira, neurketa puntuaren menpekoa direlako. Hau dela medio, sarearen inpedantzian egindako neurketatik, batezbesteko balioak jasotzen dituen neurketa hautatu da. Hori dela eta, analisi hau egiteko, “Irudia 41”-en agertzen diren datuak erabili dira.



Irudia 41: TSR ikerketa taldeak hiri-zonaldean egindako sarearen inpedantziaren neurketak [11]

Grafiko bi hauetatik inpedantziaren moduluaren eta fasearen balio batzuk aukeratu egin dira:

Frek (kHz)	Sarearen inpedantziaren modulua (Ω)
50	2,5
100	10
150	2,5
250	5
400	7,5
450	10
500	12,5

Taula 11: TSRk egindako sarearen neurketen inpedantziaren modulua [10]

Frek (kHz)	Sarearen inpedantziaren fasea	
	(rad)	($^{\circ}$)
50	1,2	68,75
125	0	0,000
200	0,8	45,83
250	1,2	68,75
300	1,3	74,48
350	1,4	80,21
400	1,4	80,21
450	1,4	80,21
500	1,4	80,21

Taula 12: TSRk egindako sarearen neurketen inpedantziaren fasea [10]

Balio hauen bitartez, eta Excel programaren erregresio polinomikoak egiteko erramintarekin, sarearen inpedantziaren karakterizazioa lortu egin da, emaitza honako hau delarik:

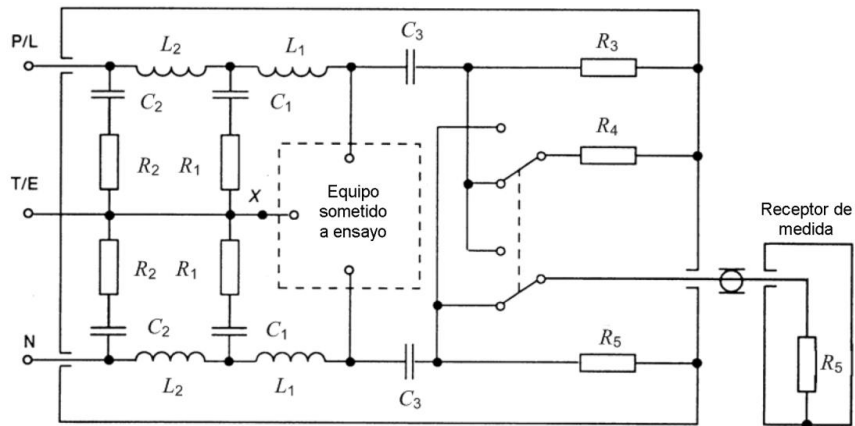
$$|Z_{\text{Sarea}}(f)| = -2,1348E-27 \cdot f^4 + 1,1106E-19 \cdot f^3 - 1,8225E-12 \cdot f^2 + 1,3908E-05 \cdot f + 3,4567$$

$$\text{phase}(Z_{\text{Sarea}}(f)) = -2,338E-25 \cdot f^5 + 3,754E-19 \cdot f^4 - 2,275E-13 \cdot f^3 + 6,323E-08 \cdot f^2 - 7,518E-03 \cdot f + 3,125E+022$$

7.2.2. 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan

Puntu hau egiteko, 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motako zirkuitua eta honetan dauden osagai elektronikoak sakonki aztertu dira. Azterketa hau, ADS simulazio programaren

Optimization eta *Tuning* erramintekin garatu egin da. Análisi honen ondorioz, LISNaren osagaiek, eta hauen balioek, egonkortze-sarearen S parametroetan eta portuen sarrera-inpedantzietan duten eragina konprobatu da. $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagaiei erreferentzia egingo zaienez, zirkuituaren eskema elektronikoa eta osagaien zerrenda berriro agertuko dira:



Irudia 42: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren eskema elektronikoa [2]

Osagaia	Balioa
R1	5Ω
R2	10Ω
R3	1000Ω
R4	50Ω
R5	50Ω (neurketa hargailuaren sarrera-inpedantzia)
C1	$8 \mu\text{F}$
C2	$4 \mu\text{F}$
C3	$0,25 \mu\text{F}$
L1	$50 \mu\text{H}$
L2	$250 \mu\text{H}$

Taula 13: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren osagai elektronikoen taula [2]

Egindako lanarekin honako ondorio hauetara heldu da:

1. LISN batek EUTaren portuan aurkezten duen sarrera-inpedantzia " $R_{\text{par}} / (L_{\text{ser}} + R_{\text{ser}})$ " moduan adierazten dela jakinda, egiazta daiteke osagaien balio hauek "Taula 13"-an eta "Irudia 42"-an bildutako osagaiekin erlazionatuta

- daudela. Hots, R_{par} , R_4 erresistentzia da, L_{ser} L_1 harilaren balio bera dauka eta R_{ser} , R_1 erresistentziaren balioidea da. Hau dela eta, EUT portuan inpedantzia ezberdina duten LISN berriak sortzeko balio hauek aldatu beharko dira nahi den inpedantzia simulatzeko.
2. Osagai hauen (R_4 , L_1 eta R_1) balioak honela eragiten dute Z_{EUT_port} portuaren inpedantzia: R_4 erresistentzia frekuentzia altuetan Z_{EUT_port} portuak aurkeztuko duen inpedantziaren modulua ezarriko du. C_1 kondentsadoreak Z_{EUT_port} portuak maiztasun baxuetan aurkeztuko duen inpedantzia baldintzatuko du. R_1 erresistentziaren balioak EUTaren portuan, frekuentzia ertainetan (1 kHz eta 1 MHz bitartean, kasuan kasu), dagoen inpedantziaren moduluen balioa baldintzatzen du. Azkenik, L_1 -ekin Z_{EUT_port} inpedantzia zein frekuentzia tartetan handitzen den ezartzen da. Hau da, osagai honek 50 μ H balioa duenean Z_{EUT_port} inpedantziaren moduluen hazkundera 6 kHz eta 5 MHz bitartean ematen da; balioa, adibidez, 2,5 μ H-koa denean hazkunde hori 3 MHz eta 15 MHz bitartean ematen da. Beraz, L_1 osagaiak Z_{EUT_port} inpedantziaren moduluen funtzioa ardatz horizontalean desplazatzen duela esan daiteke.
 3. "Taula 13"-an eta "Irudia 42"-an jasotako R_2 , C_2 eta L_2 osagaiek Z_{IN_port} sarera konektatzen den portuan dute eragina. R_2 erresistentzia frekuentzia altuetan Z_{IN_port} portuak aurkeztuko duen inpedantziaren modulua ezarriko du. C_2 kondentsadoreak Z_{IN_port} portuak maiztasun baxuetan aurkeztuko duen inpedantzia baldintzatuko du. Azkenik, L_2 -k L_1 duen konportamendu bera aurkezten du Z_{IN_port} portuan.
 4. Neurgailuaren portuari dagokionez, C_3 kondentsadoreak Z_{RX_port} neurgailuaren portuan, frekuentzia baxuetan, inpedantzia altua izatea baldintzatzen du; C_3 -k zenbat eta balio txikiagoa izan, orduan eta inpedantzia handiagoa izango du Z_{RX_port} frekuentzia baxuetan. R_3 erresistentziak Z_{RX_port} portuaren inpedantziaren frekuentzia altuetan du eragina; zenbat eta altuagoa izan erresistentzia honen balioa, frekuentzia altuetan, Z_{RX_port} portuaren inpedantzia 50 Ω -eko baliotik hurbilago egongo da.
 5. L_1 harilaren balioa txikiagoa egiteak, S_{RX-EUT} parametroaren balioak okerragotzen dute. Parametro honetan honelako aldaketa izatea nahiko kritikoa da, EUT-tik neurgailura doazen, eta neurtu nahi diren, emisio elektromagnetikoak ahuldu egiten direlako. Egoera hau dela eta, 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISNean 90 kHz-eko frekuentziatik aurrera S_{RX-EUT} parametroak -3 dB baino gutxiagoko ahuldura aurkezten du.

7.2.3. LISN berriaren eskema elektronikoa

Aurreko bi ataletan azaldutakoa kontuan hartuz, LISN berri baten eskema elektronikoa proposatuko da. Zirkuitu berri honekin, sarearen inpedantziaren modulua era fidagarriagoan simulatzen duen LISNa proposatuko da. Dena dela, sintesi hau CISPR 16-1-2 arauak xedatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren eskema elektrikoaren osagaien balioak aldatuz lortu egin da. Gainera, sarearen inpedantziaren fasearen balioak ez dira kontuan hartuko sintesia egiteko.

Sarearen balioak eta erregresio polinomikoa oinarri hartuta, EUTaren portuan LISN berriak izan behar duen sarrera-inpedantzia zehaztu behar da. Horretarako, "Taula 13"-an agertzen diren sarearen inpedantziaren moduluaren balioei beste batzuk gehitu zaizkio. Izan ere, LISN guztiak, frekuentzia altuetan, 50Ω inpedantziako modulua aurkezten dute EUTaren portuan.

Frek (MHz)	Sarearen inpedantziaren modulua (Ω)
1	15
5	40
10	50
30	50

Taula 14: Sarearen inpedantziaren moduluaren balioen datu gehigarriak

Datu berri hauekin, eta Excel programan inplementatutako kalkulu eta grafiko batzuen bitartez, sarearen inpedantziaren modulua hobeto simulatzen duen inpedantziaren sintesi sinplea eginda da, honako hau delarik:

$$50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$$

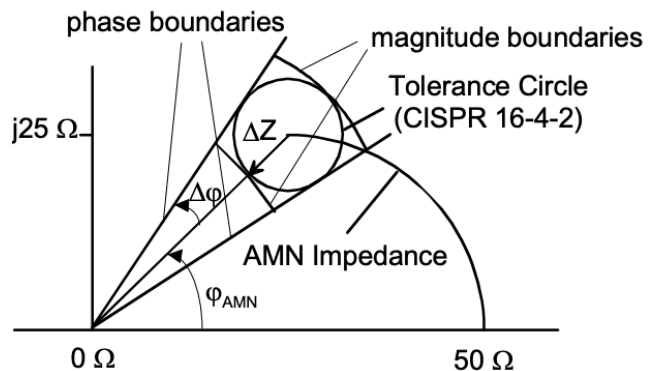
LISNak EUTaren portuan duen sarrera-inpedantzia $50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$ izateko CISPR 16-1-2 arauan jasotzen den $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ zirkuituan zenbait aldaketa proposatzen dira, honako hauek izanik:

Osagaia	CISPR 16-1-2 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω)	LISN berria 50 Ω /(2,5 μ H + 4 Ω)
	Balioa	Balioa
R ₁	5 Ω	4 Ω
R ₂	10 Ω	10 Ω
R ₃	1000 Ω	5000 Ω
R ₄	50 Ω	50 Ω
R ₅	50 Ω	50 Ω
C ₁	8 μ F	8 μ F
C ₂	4 μ F	4 μ F
C ₃	0,25 μ F	0,25 μ F
L ₁	50 μ H	2,5 μ H
L ₂	250 μ H	250 μ H

Taula 15: 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) eta 50 Ω /(2,5 μ H + 4 Ω) LISN moten osagaiak

7.3. LISNen ziurgabetasun kontribuzioa zehazteko eskarri digitalak

Neurketa baten ziurgabetasuna, hau egiteko erabiltzen diren ekipo guztien ziurgabetasunek osatzen dute. Atal honetan, LISNak erabiltzerakoan hauek neurketen ziurgabetasunari gehitzen dioten kontribuzioa kalkulatzeko duten baliabide digitalen garapena azalduko da.

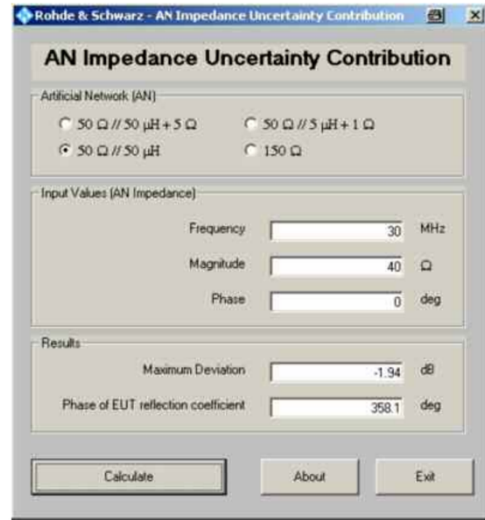


Irudia 43: Impedantzien moduluaren eta fasearen tolerantzien definizioa

LISNen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko lehenengo pausoak, UNE-EN 55016-1-2 arauaren "Anexo I" eranskinean agertzen diren hastapenetan oinarritzen dira. Honetan, CISPR 16-1-2 arauak LISNentzako arautzen dituen tolerantziak direla eta, LISNekin egiten diren neurketak duten ziurgabetasuna analizatzen da. CISPR 16-1-2 arauan EUTaren portuan LISNek izan behar duten inpedantzia xedatzen da; dena dela, balio hauek tolerantzia batzuk biltzen dituzte: anplitudean $\pm 20\%$ -koa eta fasean $\pm 11,5^\circ$ -koa. Egoera honek, "Irudia 43"-an agertzen den figuran, sortzen den "tolerantzia zirkulua" (*Tolerance Circle*) adierazita dator, non ΔZ zirkunferentziak EUTaren portuaren sarrera-impedantzia baimendutako balioak barruan biltzen dituen. Azaldutako inpedantziak baimenduta dauden arren, neurketetan eragina dute, probaren baldintza teorikoak aldatzen direlako. Hau dela eta, neurketen ziurgabetasuna kalkulatu behar da. Dena dela, LISN batek neurketetan sortzen duen ziurgabetasunaren kontribuzioa, tolerantziak sortutako EUTaren sarrera-impedantziaren errealaren (Z_{an}) eta EUTek duten islapen koefizientearen (Γ_{eut}) menpekota izango da; eta hortaz, EUTen inpedantziek eragina izango dute LISNekin egindako neurketen ziurgabetasunaren kontribuzioan.

Rhode & Schwarz fabrikatzaileak "*R&S – AN Impedance Uncertainty Contribution*" programa informatikoa sortu du ziurgabetasun kontribuzio hau lortzeko. Kalkulagailu

honen bidez, CISPR 16-1-2 arauan biltzen diren LISNen zirkuituekin egindako neurketen desbiderapen maximoa jakin daiteke. Kalkulagailu honek, EUTaren portuan, frekuentzia zehatz baterako, LISNak aurkezten duen sarrera-inpedantzia eskatzen du, bai moduluan bai fasean. Behin hau jakinda, programak frekuentzia horretarako emisioen neurketak duten desbiderapen maximoa adieraziko du, baita EUTaren islapen koefizientearen fasea ere.



Irudia 44: R&S - AN Impedance Uncertainty Contribution [23]

7.3.1. LISN mota baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak

“R&S – AN Impedance Uncertainty Contribution” programak egiten dituen kalkulu hauek orokortu daitezke; edozein LISN motak frekuentzia ezberdinetan, izan dezakeen desbiderapen maximoa kalkulatzeko. Kalkulu hauek egiteko prozedura, R&S fabrikatzaileak ziurgabetasunaren kalkulagailuaren gidaliburutik lortu dira [23]:

EUTaren portuan dagoen inpedantzia teorikoa, adibidez $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$, Z_{nom} moduan definitzen badugu; portu horretan, araututako tolerantziak direla eta egon daitekeen inpedantzia erreala, Z_{an} , honako hau izango da:

$$Z_{an} = Z_{nom} + \alpha |Z_{nom}| \exp(j\theta), \quad \text{non } 0 \leq \alpha \leq 0,2 \quad \text{eta} \quad 0 \leq \theta < 2\pi$$

Formula honetan, α inpedantziaren moduluan egon daitekeen tolerantzia adierazten du, eta θ , berriz, tolerantzia horrek sortutako bektoreak izango duen noranzkoa definituko du, guzti hau “Irudia 43”-an agertzen den ΔZ bektorea da.

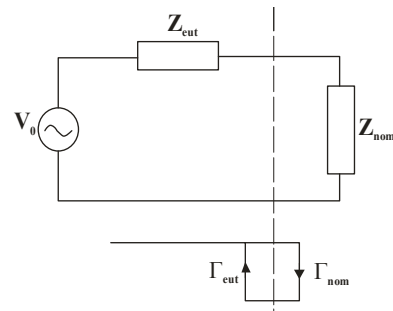
Gainera, Z_{an} eta Z_{nom} inpedantzien islapen koefizientea definitu beharko da:

$$\Gamma_{an} = \frac{Z_{an} - Z_0}{Z_{an} + Z_0} \quad \Gamma_{nom} = \frac{Z_{nom} - Z_0}{Z_{nom} + Z_0}$$

Beste alde betetik, EUT gailuak sortuko duen islapen koefizientea kontuan hartu behar da:

$$\Gamma_{eut} = \rho \exp(j\phi), \text{ non } 0 \leq \rho \leq 1 \text{ eta } 0 \leq \phi < 2\pi$$

Hemen, ρ islapen koefizientearen modulua izango da, eta ϕ islapen koefizientearen fasea.



Irudia 45: LISNa eta EUTaren zirkuitu baliokidea

Zirkuituen eta mikrouhinen teoria aplikatuz, Z_{nom} inpedantzia idealean dagoen tentsio erorketa kalkula daiteke:

$$V_{nom} = \frac{Z_{nom}}{Z_{eut} + Z_{nom}} V_0 = \frac{(1 + \Gamma_{nom})(1 - \Gamma_{eut})}{2(1 - \Gamma_{nom}\Gamma_{eut})} V_0$$

Gauza bera egin daiteke Z_{an} inpedantzia errealarekin:

$$V_{an} = \frac{Z_{an}}{Z_{eut} + Z_{an}} V_0 = \frac{(1 + \Gamma_{an})(1 - \Gamma_{eut})}{2(1 - \Gamma_{an}\Gamma_{eut})} V_0$$

Jakinda LISN baten neurketen desbiderapena Z_{an} inpedantzian dagoen tentsioaren eta Z_{nom} inpedantziaren zatidura dela:

$$\text{Neurketen desbiderapena} = \left| \frac{V_{an}}{V_{nom}} \right| = \left| \frac{1 + \Gamma_{an}}{1 - \Gamma_{an}\Gamma_{eut}} \cdot \frac{1 - \Gamma_{nom}\Gamma_{eut}}{1 + \Gamma_{nom}} \right|$$

LISNen ziurgabetasun kontribuzioak eragindako desbiderapen maximoa eta minimoa kalkulatzeko, aurreko formula aplikatu beharko da honako baldintza hauekin:

- Muturreko egoeren balioak lortu nahi direnez, ziurgabetasun kontribuzioak eragindako desbiderapen maximoak eta minimoak, Z_{an} inpedantziaren α aldagaiaren balioa 0,2 izan beharko da.
- Printzipio bera aplikatuz, Γ_{eut} islapen koefizientearen ρ parametroaren balioa 1 izan beharko da.
- Desbiderapenaren balio maximoak eta minimoak Z_{an} inpedantziaren θ eta Γ_{eut} islapen koefizientearen ϕ parametroen konbinazio guztiak kalkulatzuz,

parametro hauetan 1º aldaketa eginez, lortuko dira. Guztira, 129.600 kalkulu egin behako dira.

- Desbiderapen maximoa, kalkulu guztietatik balio absolutu handiena lortu duen emaitzak adieraziko du.

Aurreko pausoekin lortutako desbiderapen maximoa, frekuentzia jakin batean LISN mota jakin batek izango duen ziurgabetasun kontribuzioak adieraziko du. LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa frekuentzia ezberdinetan zein den jakiteko, kalkulu hauek frekuentzia zehatz horietan aplikatu beharko dira.

Lan honetan, kalkulu hauek Excel orri batean automatizatu egin dira. Euskarri digital honen bidez, edozein LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa kalkula daiteke, eta ez bakarrik CISPR 16-1-2 arauak biltzen dituenak, "R&S – AN Impedance Uncertainty Contribution" programak egiten duen moduan. Erremienta honekin etorkizunean TSR taldeak proposatu ditzakeen LISN berrien ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatu ahalko dira.

Excel programan inplementatutako kalkuluen orria hau da:

Input param.	Zo	50 Ω	Z_lisn	50 Ω // 5,00E-05 H + 0 Ω	Zan	
Output					α (0 ≤ α ≤ 0,2)	0,2
					Γ_{eut}	
					ρ (0 ≤ ρ ≤ 1)	1
	Freq (MHz)	Min (Van/Vnom)	Max (Van/Vnom)			
	f1	0,15 MHz	2,6751 dB	-2,5978 dB		
	f2	0,16 MHz	2,5565 dB	-2,5317 dB		
	f3	0,17 MHz	2,4564 dB	-2,4747 dB		
	f4	0,18 MHz	2,3708 dB	-2,4253 dB		
	f5	0,19 MHz	2,2971 dB	-2,3823 dB		
	f6	0,20 MHz	2,2332 dB	-2,3445 dB		
	f7	0,25 MHz	2,0132 dB	-2,2114 dB		
	f8	0,30 MHz	1,8880 dB	-2,1335 dB		
	f9	0,50 MHz	1,6969 dB	-2,0118 dB		
	f10	1,00 MHz	1,6124 dB	-1,9570 dB		
	f11	5,00 MHz	1,5847 dB	-1,9389 dB		
	f12	10,00 MHz	1,5839 dB	-1,9383 dB		
	f13	30,00 MHz	1,5837 dB	-1,9382 dB		

Irudia 46: Edozein LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia

Frec	1,50E+05 Hz		Van/Vnom	
Zan	Max	Min	2,6751 dB	-2,5978 dB
α ($0 \leq \alpha \leq 0,2$)	0,2			
Γ_{eut}	1			
ρ ($0 \leq \rho \leq 1$)	1			

mod	phase (rad)	phase(deg)	Binomial
Znom	34,2933 Ω	0,8150 rad	46,70 $^{\circ}$
Γ_{nom}	0,468800	2,0586 rad	117,95 $^{\circ}$

B (deg.)	a (deg.)	B (rad)	a (rad)	Zan	Zan	Γ_{an}	Γ_{cut}	Van/Vnom	20log(Van/Vnom)
0*	0*	0,0000 rad	0,0000 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	1		1,13717334238924-0,45545436677905j	1,1871 dB
0*	1*	0,0000 rad	0,0175 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,999847695156391+0,0174524064372835j		1,137395604276-0,144189159516592j	1,1871 dB
0*	2*	0,0000 rad	0,0349 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,99930827019096+0,034899496702501j		1,13749040697734-0,142842806741633j	1,1869 dB
0*	3*	0,0000 rad	0,0524 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,998629534754574+0,052339562429438j		1,137625963693956-0,141506388659478j	1,1867 dB
0*	4*	0,0000 rad	0,0698 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,99756405252824+0,0697956473441253j		1,13774646972826-0,14017851243874j	1,1863 dB
0*	5*	0,0000 rad	0,0873 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,996194698091746+0,0871557427476582j		1,13785293456632-0,13886238245736j	1,1859 dB
0*	6*	0,0000 rad	0,1047 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,994521895368273+0,104528463267653j		1,13794503546248-0,137554800484315j	1,1854 dB
0*	7*	0,0000 rad	0,1222 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,992546151641322+0,121889343405147j		1,13802331806381-0,13625666185999j	1,1848 dB
0*	8*	0,0000 rad	0,1396 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,99026806874137-0,139173100960055j		1,1380880969831-0,13496797156809j	1,1842 dB
0*	9*	0,0000 rad	0,1571 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,987868340595138+0,156434465040231j		1,1381396740789-0,13368832923273j	1,1834 dB
0*	10*	0,0000 rad	0,1745 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,984807753012208+0,17364817766693j		1,13817834471799-0,13241791704796j	1,1826 dB
0*	11*	0,0000 rad	0,1920 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,981627183447664+0,190808995376545j		1,13820438922143-0,131156333447832j	1,1817 dB
0*	12*	0,0000 rad	0,2094 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,978147600733806+0,207911809817739j		1,13821808034317-0,12990407057448j	1,1807 dB
0*	13*	0,0000 rad	0,2269 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,974370264783235+0,224951054343865j		1,13821808034317-0,12866019426819j	1,1797 dB
0*	14*	0,0000 rad	0,2443 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,970295726275996+0,241921895599668j		1,1382094429505-0,127425470493289j	1,1785 dB
0*	15*	0,0000 rad	0,2618 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,965925826289068+0,258819045102521j		1,1381876120263-0,126199113342267j	1,1773 dB
0*	16*	0,0000 rad	0,2793 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,961261695938319+0,275637355816999j		1,13815442204321-0,12498132956646j	1,1761 dB
0*	17*	0,0000 rad	0,2967 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,956304755963035+0,29237170472737j		1,1381100946602-0,123771732835911j	1,1747 dB
0*	18*	0,0000 rad	0,3142 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,951056516295154+0,30901694934947j		1,13805486271101-0,122570487125431j	1,1734 dB
0*	19*	0,0000 rad	0,3316 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,94551857599917+0,325568144571157j		1,137988920212-0,121377389736614j	1,1719 dB
0*	20*	0,0000 rad	0,3491 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,939892620789008+0,342020143325669j		1,13791247211518-0,12019232965844j	1,1704 dB
0*	21*	0,0000 rad	0,3665 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,933580426497202+0,3583679495453j		1,13782572109309-0,119015196010334j	1,1688 dB
0*	22*	0,0000 rad	0,3840 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,92718384566787+0,374605934151923j		1,13772844879891-0,117845878316149j	1,1671 dB
0*	23*	0,0000 rad	0,4014 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,920500485345244+0,390731128489274j		1,13762202565021-0,116684466463719j	1,1654 dB
0*	24*	0,0000 rad	0,4189 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,91354545642601+0,4067366430758j		1,1375054381802-0,115530250539242j	1,1636 dB
0*	25*	0,0000 rad	0,4363 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,90630778703665+0,422618261740699j		1,13737924086521-0,114383721405142j	1,1618 dB
0*	26*	0,0000 rad	0,4538 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,898794046299167+0,438371146789077j		1,1372459952767-0,113244570443816j	1,1599 dB
0*	27*	0,0000 rad	0,4712 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,891006234188368+0,4539949973947j		1,137096466609-0,11212889089393j	1,1580 dB
0*	28*	0,0000 rad	0,4887 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,88294752858927+0,469471562785891j		1,13694458043041-0,10987971932974j	1,1560 dB
0*	29*	0,0000 rad	0,5061 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,874619707139396+0,484809620246337j		1,1367814842276-0,109870310688328j	1,1539 dB
0*	30*	0,0000 rad	0,5236 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,866025403784439+0,5j		1,13660952186142-0,10875960333135j	1,1518 dB
0*	31*	0,0000 rad	0,5411 rad	30,3793244472596-24,9561925232636j	-0,134716630366648+0,352307099885616j	0,857167300720112+0,5150380748910054j		1,13642880873843-0,107655736111334j	1,1496 dB

Irudia 47: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria

Aurreko irudietan ikus daitezkeen moduan, "Irudia 46"-an (Excelaren orri nagusia) hainbat parametro konfiguratu daitezke: inpedantzia karakteristikoa (Z_0), LISNaren EUTaren portuan dagoen inpedantzia teorikoa (Z_{lisn}), Z_{an} -ren α tolerantzia, Γ_{eut} islapen koefizientearen modulua (ρ) eta ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko frekuentziak. "Irudia 47"-n ordea, frekuentzia bakoitzeko Excelak burutzen dituen kalkuluen emaitzak agertzen dira.

7.3.2. LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak

Aurreko ataleko kalkuluetatik abiatuta, LISN konkretu batek EUTaren portuan duen inpedantzia zein den jakinda, gailu honek neurketetan sortzen duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko algoritmoa ere sor daiteke.

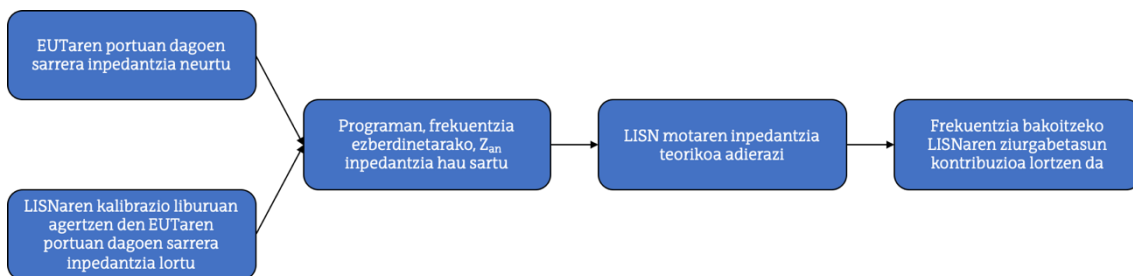
LISN batek EUTaren portuan duen inpedantzia bi erataraz lor daiteke: kalibratio txosten baten bidez, edota neurketak eginez (sare analizatzaile batekin, adibidez). Metodo biek, frekuentzia ezberdinetan EUTaren portuan LISNak duen inpedantziaren balioak lortuko dira. Kalibratio liburuan agertutako edo laborategi batean neurtutako inpedantzia hauek Z_{an} izango dira, LISNak duen inpedantzia erreal

delako. Frekuentzia ezberdinetarako Z_{an} zein den jakinda, ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Γ_{eut} islapen koefizienteak duen aldakortasuna bakarrik kontuan hartu behar da. Dena dela, desbiderapen maximoaren formula berdina izango da:

$$\text{Neurketen desbiderapena} = \left| \frac{V_{an}}{V_{nom}} \right| = \left| \frac{1+\Gamma_{an}}{1-\Gamma_{an}\Gamma_{eut}} \cdot \frac{1-\Gamma_{nom}\Gamma_{eut}}{1+\Gamma_{nom}} \right|$$

Hortaz, kalkuluak honako prozedura berria jarraituko dute:

- Muturreko egoeren balioak lortu nahi direnez (ziurgabetasun kontribuzioak eragindako desbiderapen maximoak eta minimoak) Γ_{eut} islapen koefizientearen ρ parametroaren balioa 1 izan beharko du.
- Desbiderapenaren balio maximoak eta minimoak Γ_{eut} islapen koefizientearen ϕ parametroaren konbinazio guztiak kalkulatu, parametro honetan 1º aldaketa eginez, lortuko dira. Guztira, 360 kalkulu egin behako dira.
- Desbiderapen maximoa, kalkulu guztietatik balio absolutuan handiena den emaitzak adieraziko du. Balio maximo hau ematen duen Γ_{eut} islapen koefizientearen ϕ fasea ere adieraziko da.



Irudia 48: LISN jakin baten ziurgabetasun kontribuzioa lortzeko prozedura

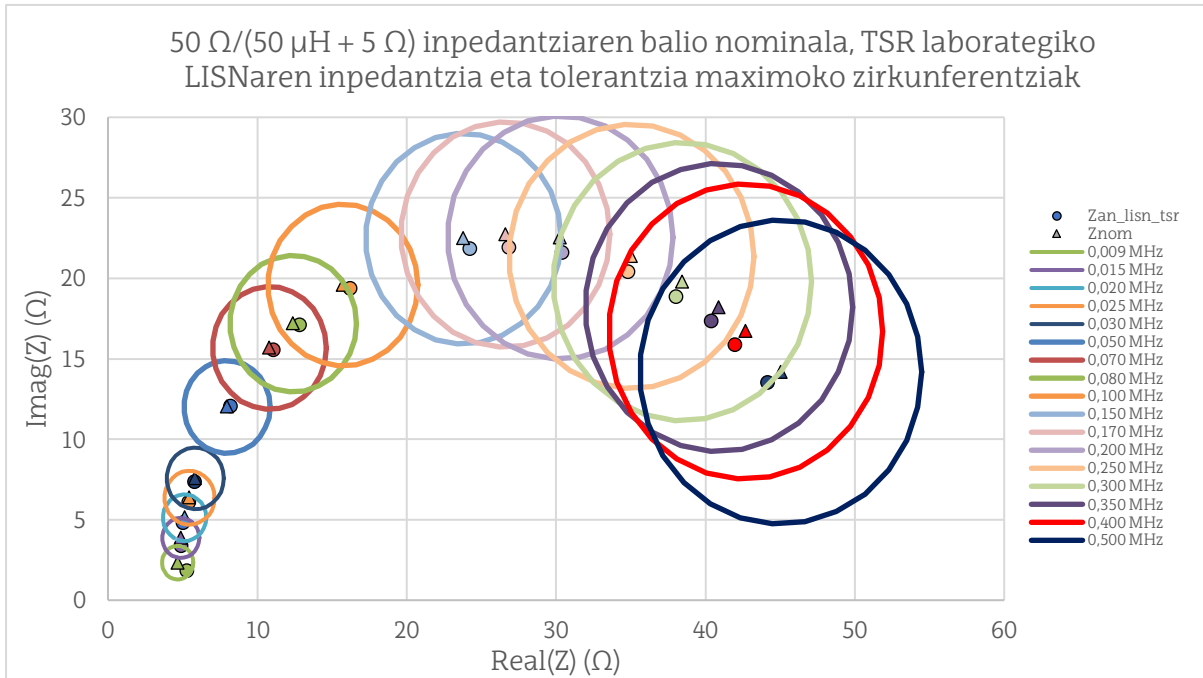
Azaldutako prozedura guztia Excel baten inplementatu da, TSR ikerketa taldeak duen *R&S@ENV216 Two-Line V-Network* LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko. Kalkuluak egin baino lehen, R&S fabrikatzaileak emandako LISN konkretu honen kalibrazio txostenetik EUTaren sarrera-inpedantzia lortu da:

Freq (MHz)	Z _{an} (Ω)	phase(Z _{an}) (°)
0,009 MHz	5,60 Ω	19,01 °
0,015 MHz	5,94 Ω	34,72 °
0,020 MHz	6,95 Ω	43,69 °
0,025 MHz	8,13 Ω	48,50 °
0,030 MHz	9,37 Ω	51,88 °
0,050 MHz	14,59 Ω	55,89 °
0,070 MHz	19,10 Ω	54,53 °
0,080 MHz	21,39 Ω	53,17 °
0,100 MHz	25,25 Ω	50,12 °
0,150 MHz	32,62 Ω	42,01 °
0,170 MHz	34,68 Ω	39,24 °
0,200 MHz	37,30 Ω	35,42 °
0,250 MHz	40,36 Ω	30,35 °
0,300 MHz	42,45 Ω	26,38 °
0,350 MHz	43,95 Ω	23,22 °
0,400 MHz	44,87 Ω	20,74 °
0,500 MHz	46,19 Ω	17,01 °
0,700 MHz	47,50 Ω	12,53 °
0,900 MHz	48,06 Ω	9,91 °
1,000 MHz	48,23 Ω	8,98 °
1,500 MHz	48,66 Ω	6,23 °
2,000 MHz	48,83 Ω	4,86 °
2,500 MHz	48,91 Ω	4,07 °
3,000 MHz	48,97 Ω	3,56 °
4,000 MHz	49,04 Ω	3,00 °
5,000 MHz	49,08 Ω	2,72 °
7,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °
10,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °
15,000 MHz	49,09 Ω	3,00 °
20,000 MHz	48,88 Ω	3,24 °
30,000 MHz	47,72 Ω	4,14 °

Taula 16: R&S®ENV216 Two-Line V-Network LISNaren Z_{an} inpedantzia [24]

Programan, *R&S®ENV216 Two-Line V-Network* LISNaren kalibratio txostenean agertzen diren inpedantziaren balioak sartuz eta LISN honen mota 50 Ω/(50 μH + 5Ω) dela adieraziz, LISN honek frekuentzia ezberdinetan duen ziurgabetasun kontribuzioa azalduko da.

Kalibratio txostenean jasotako LISNaren Z_{an} inpedantzia erreal eta Z_{nom} inpedantzia teorikoa nahiko hurbileko balioak dituztela egiazta daiteke. Gainera Z_{an} inpedantziaren balioak tolerantzia parametroen barruan daude, grafiko honetan frogatzen den moduan (III. Eranskineko 139. orrialdean grafiko honen handipena dago):



Grafikoa 5: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) inpedantziaren balio nominala, TSR laborategiko LISNaren inpedantzia eta tolerantzia maximoko zirkunferentzien (Tolerance Circle) diagrama

Excelak honako interfaze hau dauka:

Input param.		Z lisn	50 Ω//	5,00E-05 H	5 Ω
Output					
Zo	50 Ω				
Γeut					
ρ (0 ≤ ρ ≤ 1)	1				
	Freq (MHz)	Zan (Ω) [mod]	phase(Zan) (°)	MAXIMUM DEVIATION	Phase of EUT reflection coeff.
f1	0,009 MHz	5,60 Ω	19,01 °	0,7742 dB	153 °
f2	0,015 MHz	5,94 Ω	34,72 °	-0,8393 dB	199 °
f3	0,020 MHz	6,95 Ω	43,69 °	-0,5722 dB	207 °
f4	0,025 MHz	8,13 Ω	48,50 °	-0,4330 dB	209 °
f5	0,030 MHz	9,37 Ω	51,88 °	-0,2830 dB	214 °
f6	0,050 MHz	14,59 Ω	55,89 °	-0,1236 dB	204 °
f7	0,070 MHz	19,10 Ω	54,53 °	-0,1966 dB	219 °
f8	0,080 MHz	21,39 Ω	53,17 °	-0,2118 dB	220 °
f9	0,100 MHz	25,25 Ω	50,12 °	-0,2152 dB	229 °
f10	0,150 MHz	32,62 Ω	42,01 °	-0,2461 dB	249 °
f11	0,170 MHz	34,68 Ω	39,24 °	-0,2506 dB	259 °
f12	0,200 MHz	37,30 Ω	35,42 °	-0,2500 dB	268 °
f13	0,250 MHz	40,36 Ω	30,35 °	-0,2410 dB	284 °
f14	0,300 MHz	42,45 Ω	26,38 °	-0,2287 dB	294 °
f15	0,350 MHz	43,95 Ω	23,22 °	-0,2114 dB	301 °
f16	0,400 MHz	44,87 Ω	20,74 °	-0,2227 dB	311 °
f17	0,500 MHz	46,19 Ω	17,01 °	-0,2126 dB	321 °
f18	0,700 MHz	47,50 Ω	12,53 °	-0,1915 dB	336 °
f19	0,900 MHz	48,06 Ω	9,91 °	-0,1865 dB	344 °
f20	1,000 MHz	48,23 Ω	8,98 °	-0,1847 dB	348 °
f21	1,500 MHz	48,66 Ω	6,23 °	-0,1776 dB	6 °
f22	2,000 MHz	48,83 Ω	4,86 °	-0,1743 dB	9 °
f23	2,500 MHz	48,91 Ω	4,07 °	-0,1744 dB	16 °
f24	3,000 MHz	48,97 Ω	3,56 °	-0,1730 dB	21 °
f25	4,000 MHz	49,04 Ω	3,00 °	-0,1746 dB	30 °
f26	5,000 MHz	49,08 Ω	2,72 °	-0,1789 dB	39 °
f27	7,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,1913 dB	49 °
f28	10,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,2160 dB	56 °
f29	15,000 MHz	49,09 Ω	3,00 °	-0,2718 dB	65 °
f30	20,000 MHz	48,88 Ω	3,24 °	-0,3243 dB	64 °
f31	30,000 MHz	47,72 Ω	4,14 °	-0,5461 dB	55 °

Irudia 49: LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia

8. EMAITZEN DESKRIBAPENA

Atal honetan, GrAL honetan emandako irtenbideari esker lortutako emaitzak azalduko dira. Gainera, emaitzen azalpena dokumentu honetan dagoen "I. Eranskina: Emaitzak" atalean dauden grafikoekin eta taulekin erlazionatuko dira. Emaitzen antolakuntzari dagokionez, txosten honen "7." puntuan erabilitako lanaren sailkapena jarraituko da.

8.1. ADS bidezko simulazioak

ADS bidezko simulazioen emaitzen grafiko eta taula guztiak dokumentu honen "I. ERANSKINA: ADS SIMULAZIOEN EMAITZAK" eranskinean agertzen dira.

8.1.1. LISNaren karakterizazioa

Puntu honetan jorratutako simulazioekin, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN mota ADS programan ondo implementatzea eta, behin hau ziurtatuta, egonkortze-sare honen funtzionamendua karakterizatzea lortu da.

Zirkuitua ondo inplementatu dela egiaztatzeko, EUTaren portuan CISPR 16-1-2 arauak xedatzen duen sarrera-inpedantziaren balioak daudela egiaztatu da. Hau, aipatutako eranskinaren taula honetan ikus daiteke:

- Taula 23: $Z_{\text{EUT_port}}$ portuaren sarrera-inpedantziaren simulazioen emaitzak eta UNE-EN 55016-1-2 arauak xedatutako balioak [2]

LISNaren karakterizazioa biltzen duten grafikoak honako hauek dira:

- Grafikoa 6: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren portuen sarrera-inpedantziaren modulua
- Grafikoa 7: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren portuen sarrera-inpedantziaren fasea
- Grafikoa 8: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben modulua
- Grafikoa 9: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben fasea

Grafiko hauen bitartez honako hastapen hauek egiaztatu dira:

1. Sarearen (IN) eta EUTaren portuaren artean LISNa behe-paseko iragazki baten moduan funtzionatzen du.
2. EUTaren eta neurgailuaren (Rx) portuen artean LISNa goi-paseko iragazkiaren konportamendua dauka.
3. Sarearen (IN) eta neurgailuaren (Rx) portuen artean LISNa behe paseko iragazki baten funtzionamendua dauka. Dena dela, gutxienez 25 dB-ko atenuazioa ziurtatzen da bi portu hauen artean, hortaz, sarean dauden emisioak neurgailura oso ahulduta helduko direla konproba daiteke.
4. Z_{IN_port} inpedantziaren modulua ia konstante mantentzen da LISNaren lan maiztasunetan, 20 Ω ingurukoa delarik.
5. Z_{EUT_port} eta Z_{RX_port} portuen sarrera-inpedantziaren moduluak 50 Ω inguruko balioak lortzen dituzte frekuentzia altuetan, 1 MHz-tik aurrera.
6. Z_{RX_port} sarrera-inpedantziaren modulua oso balio altuak ditu frekuentzia baxuetan, 0 Hz eta 10 kHz bitartean.

8.1.2. Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa

Atal honetan, inpedantzia ezberdinak duten EUTak erabili dira LISNaren funtzionamenduan duten eragina kuantifikatzeko. Eranskinean honako grafiko hauek biltzen dute simulazio guztien emaitzak:

- Grafikoa 10: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 11: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea
- Grafikoa 12: S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 13: S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren fasea
- Grafikoa 14: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 15: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea
- Grafikoa 16: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua
- Grafikoa 17: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua (handipena)
- Grafikoa 18: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren fasea
- Grafikoa 19: Z_{IN_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua

- Grafikoa 20: Z_{IN_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren fasea

Grafiko hauetan jasotako informazioaren bitartez honako ondorio hauetara hel daiteke:

1. Portuen arteko S parametroetan, 5Ω eta 50Ω bitarteko impedantzia duten EUTak ez dute eragin handirik egiten. Zirkuitu laburra eta zirkuitu irekia simulatzen duten impedantziek, ordea, S parametroen modulua era oso esanguratsuan ahultzen dute.
2. LISNaren lan frekuentzia tartean, EUT ezberdinek ez dute eragin handirik eragiten Z_{IN_port} sarrera-impedantzian.
3. Frekuentzia altuetan, 1 MHz-etik aurrera, Z_{RX_port} impedantziak aurkezten duen impedantzia EUTaren impedantziaren oso antzekoa da.

8.1.3. LISNaren konportamendua emisioen neurketan

Lanaren atal honetan, LISN batekin emisioak neurtzerakoan eta impedantzia ezberdinak dituzten EUTak erabiltzerako, egonkortze-sareak duen konportamendua karakterizatu da. Emaitzak honako grafiko hauetan bildu dira:

- Grafikoa 21: $|H(f)|$ transferentzia kurbaren modulua
- Grafikoa 22: $|H(f)|$ transferentzia kurbaren modulua (handipena)
- Grafikoa 23: $H(f)$ transferentzia kurbaren fasea

Simulazio hauen bitartez, aurreko azpiatalean adierazi den moduan, 5Ω eta 50Ω bitarteko impedantziek ez dutela eragin askorik sorrarazten egiaztatu da. Dena dela, zirkuitu laburra eta zirkuitu irekia, $H(f)$ transferentzia funtzioetan, nahiko ahuldura handiak sortzen dituztela frogatu da.

8.1.4. EMC iragazki komertzialen karakterizazioa

Simulazio hauen bitartez, SCHUTER fabrikatzailearen iragazkien karakterizazioa eta hauek ADSn ondo inplementatu direla egiaztatuko da. Simulazio hauek honako grafikoetan bildu dira:

- Grafikoa 24: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren modulua (zirkuitu irekian)
- Grafikoa 25: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren fasea (zirkuitu irekian)
- Grafikoa 26: EMC iragazkien $S(1,2)$ transferentzia funtzioen modulua
- Grafikoa 27: EMC iragazkien $S(1,2)$ transferentzia funtzioen fasea
- Grafikoa 28: EMC iragazkien $S(2,1)$ transferentzia funtzioen modulua
- Grafikoa 29: EMC iragazkien $S(2,1)$ transferentzia funtzioen fasea

EMC iragazkiak ondo inplementatu direla egiaztatu da, TSR taldeak egindako neurketa batzuen bidez [19], simulatutako balioak eta errealitatean neurtutakoak berdinak direlako.

8.1.4.1. EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina

Behin EMC iragazkiak karakterizatuta, hauek LISNaren zirkuituan konektatzerakoan duten eragina kuantifikatu da. Honako grafiko hauetan jaso dira simulazioen emaitzak:

- Grafikoa 30: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 31: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea
- Grafikoa 32: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 33: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren fasea
- Grafikoa 34: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 35: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea
- Grafikoa 36: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren modulua
- Grafikoa 37: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren fasea
- Grafikoa 38: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-impedantziaren modulua

- Grafikoa 39: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-inpedantziaren modulua

Emaitza hauek izanda, hainbat ondorio lortu dira:

1. Emaitzak EUT konstanteekin konparatzen badira, zenbait frekuentzian emaitzen balioak aldatzen dira, oro har, parametroen moduluen grafika guztien itxura nahiko antzeko da. Beraz, LISNa bere funtzioa era egokian betetzen du.
2. Parametroen fasea, ordea, guztiz aldatzen da inpedantzia konstantea duten EUTekin konparatzen bada.
3. Aipagarria da Z_{IN_port} sarrera-inpedantzian aldaketarik ez dela nabaritzen, inpedantzia konstantea duten EUTn grafikekin konparatzen bada.

8.1.4.2. EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina

Aurreko azpiatalean egindako moduan, EMC iragazkian emisioen neurketan LISNaren funtzionamenduan duten eragina kuantifikatu egin da. Simulazioen emaitzak eranskinaren honako grafiko hauetan jaso egin dira:

- Grafikoa 40: EMC iragazkiekin $|H(f)|$ transferentzia kurbaren modulua
- Grafikoa 41: EMC iragazkiekin $H(f)$ transferentzia kurbaren fasea

Simulazio hauekin, emisioen neurketen transferentzia kurben modulua, inpedantzia konstanteekin konparatuz, aldatzen direla ikusi da. Inpedantzia konstantea duten EUTak erabiliz, frekuentzia altuetan (100 kHz-etik aurrera), emisioen neurketek jasaten duten ahuldura gehienez 5 dB-koa da; EMC iragazkiekin, berriz, 20 dB-ko ahuldura ematen da, frekuentzia zehatz batzuetan izan ezik.

8.2. LISNaren sintesia

GrAL-aren atal honen bitartez, LISN berri bat sortzeko eman diren lehenengo hastapenen emaitzak biltzen dira. LISNaren sintesiari buruzko emaitzen grafiko eta taula guztiak dokumentu honen "II. ERANSKINA: L.I.S.N.AREN SINTESIAREN EMAITZAK" eranskinean agertzen dira.

8.2.1. LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa

Sare elektrikoaren karakterizazioari dagokionez, egindako erregresio polinomikoen eta LV sarearen inpedantzia errealeko balioen konparaketa egin da. Hauen bitartez, erregresio polinomikoak balio errealekin bat egiten dutela konprobatu da. Konparaketa hauek honako grafiko hauetan jaso dira:

- Grafikoa 42: Sarearen inpedantziaren moduluaren eta erregresio polinomikoaren konparaketa
- Grafikoa 43: Sarearen inpedantziaren fasearen eta erregresio polinomikoaren konparaketa

8.2.2. 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan

Atal honen inguruko azalpen guztiak "7. Proposatutako irtenbidearen deskribapena" atalaren "7.2.2" puntuan eman dira. Izan ere, atal horretan 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) motako LISNak dituen osagaien egonkortze-sarearen funtzionamenduan duten eragina azaltzen da.

8.2.3. LISN berriaren eskema elektronikoa

Lehendabizi, EUTaren sarrera-inpedantziaren sintesi sinplea zuzena dela egiaztatu behar da. Hurrengo grafiko honen bitartez, sarearen inpedantziaren moduluaren

neurtutako balioak, sarearen inpedantziaren moduluaren erregresio polinomikoa eta $50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$ inpedantzia berria konparatuko da, egindako sintesi sinplea nahiko hurbilekoa dela frogatzeko:

- Grafikoa 44: Sarearen balioen, erregresio polinomikoaren eta $50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$ inpedantziaren arteko konparaketa

Behin LISN berriaren inpedantzia definituta dagoela ($50 \Omega / (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$) eta LISN berriaren zirkuituaren proposamena eginda, LISN berriaren inpedantzia teorikoa eta zirkuiturena, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren eta honen inpedantzia teorikoarekin, sarearen neurketekin eta erregresio polinomikoarekin konparatu dira:

- Grafikoa 45: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-inpedantziaren modulua
- Grafikoa 46: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-inpedantziaren fasea

Beste alde batetik, definitutako LISN berriaren zirkuituaren funtzionamendua karakterizatu egin da:

- Grafikoa 47: LISNen S parametroen modulua
- Grafikoa 48: LISNen S parametroen fasea
- Grafikoa 49: LISNek portuetan duten sarrera-inpedantziaren modulua
- Grafikoa 50: LISNek portuetan duten sarrera-inpedantziaren fasea

8.3. LISNen ziurgabetasun kontribuzioa zehazteko eskarri digitala

Ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko sortutako eskarri digitalekin lortutako emaitzak azalduko dira atal honetan. LISNen ziurgabetasun kontribuzioa zehazteko sortu diren eskarri digitalekin lortutako emaitzen grafiko eta taula guztiak dokumentu honen "III. ERANSKINA: L.I.S.N.EN ZIURGABETASUN KONTRIBUZIOAREN EUSKARRI DIGITALEN EMAITZAK" eranskinean agertzen dira.

- Taula 28: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza, tolerantzia %50 dela

8.3.2. LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak

Aurreko azpiatalean erabilitako kalkuluak zuzenak direla egiaztatu denez, LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitalaren emaitzak emango dira. Kalkulu hauek TSR ikerketa taldearen *R&S®ENV216 Two-Line V-Network* LISN konkretuari egin zaizkio:

- Taula 29: TSR ikerketa taldearen R&S®ENV216 Two-Line V-Network LISNaren ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak

Gainera, emaitzen atal honetan, frekuentzia ezberdinetan $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren inpedantzia nominala, TSR ikerketa taldeak duen R&S®ENV216 LISNaren Z_{an} inpedantzia erreala eta CISPR 16-1-2 arau teknikoak xedatzen duen tolerantziak (% 20koa moduluan eta 11,5 °-koa fasean) adierazten duten zirkunferentziak grafiko bakar batean adierazi egin dira, informazio hau "Irudia 43"-an agertzen den moduan:

- Grafikoa 51: $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ inpedantziaren balio nominala, TSR laborategiko LISNaren inpedantzia eta tolerantzia maximoko zirkunferentzien (Tolerance Circle) diagrama

LANERAKO ERABILITAKO METODOLOGIA

9. EGINDAKOEN DESKRIBAPENA

GrAL proiektu hau garatzeko hainbat informazio, programa informatiko, araudi, eta abar jaso egin dira. Guzti hauek lan honetan zehar egindako atazak jorratzeko nahitaezkoak izan dira. Izan ere, proiektu honetan sortu den eduki guztia jasotako euskarriei esker egin da. Atal honen helburua proiektua egiteko jaso den, eta proiektua bukatuta sortu den, material guztia zerrendatzean datza.

GrAL hau jorratzeko jaso ziren datuak honako hauek izan ziren:

- **R&S®ENV216 Two-Line V-Network LISNa:** TSR ikerketa taldeak duen LISNetik abiatuta sortu egin ziren ikerketa lerroa eta GrAL-aren lana. Egonkortze-sare honekin batera, fabrikatzaileak emandako dokumentazioa guztia dago: LISNaren erabiltzailearen gidak, LISNaren kalibrazio txostena, *Data Sheet*-ak, etab.
- **Araudia:** CISPR 16-1-2 izan lehendabizi lortu zen araua, izan ere, TSR ikerketa taldeak duen LISNaren funtzionamendua arautzen duen txosten teknikoa da. Dokumentu honetatik abiatuz, EMC probak arautzen duten gainontzeko araudia lortu zen.
- **Rohde & Schwarz - AN Impedance Uncertainty Contribution:** LISNen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko programa honetatik abiatuz, proiektu honetan garatutako ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak egiteko euskarri digitalak sortu dira.
- **EMC iragazki komertzialak:** Zirkuitu hauekin LISN baten funtzionamenduan inpedantzia aldakor batek duen eragina kuantifikatu da. Hauek aukeratu ziren TSR taldeak EMC iragazki konkretu hauek laborategian dituelako, hauekin neurketak egin direlako (hauen konportamendu erreala karakterizatuta zegoen) eta hauen zirkuituaren eskema elektrikoa eskuragarri dagoelako.
- **Sarearen inpedantziaren neurketak:** LISN berri baten sintesia egiteko, ezinbestekoa izan da TSR taldeak egindako LV sare elektrikoaren karakterizazioa.

GrAL honetan egin den lana dela eta, hainbat eduki sortu dira, zerrenda honetan biltzen dira:

- **Simulazioen emaitzak:** LISNaren funtzionamendua karakterizatzen duten simulazioak lortu egin dira. Hauei esker, LISNaren portu ezberdinen artean ematen diren transferentzia funtzioak, portuen sarrera-impedantziak eta impedantzia ezberdinak dituzten EUTn aurrean egonkortze-sareak duen konportamendua kuantifikatu egin da.
- **Simulazioak lortzeko euskarri digitalak:** LISNaren simulazioak lortzeko, egokitzapen-sarea ADS programan inplementatu egin da. Etorkizunean LISNaren konportamendua beste egoera batean ebaluatu nahi bada euskarri digital hauek erabili ahal izango dira.
- **Sare elektrikoaren eredu matematikoa, $Z(f)$:** Proiektu honetan, TSR ikerketa taldeak egindako neurketetan oinarrituz, sare elektrikoak duen impedantziaren eredu matematikoa sortu da.
- **Ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitalak:** LISN mota batek izan dezakeen ziurgabetasun kontribuzio maximoa kalkulatzeko Excel orria sortu da. Gainera, LISN konkretu baten EUTaren portuan dagoen sarrera-impedantzia zein den jakinda, LISN horrek duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitala sortu da.
- **$50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoa eta TSR taldeak duen LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa:** Aurreko puntuan aipatutako euskarri digitalak erabiliz, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motak izango duen ziurgabetasun kontribuzio maximoa kalkulatu egin da. Beste alde batetik, TSR taldeak duen LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa lortu egin da.
- **$50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren osagaien eragina egonkortze-sarearen parametroetan:** GrAL honetan egindako ikerketaren ondorioz LISNaren osagaiak, eta hauen balioak, egonkortze-sarearen funtzionamenduan eta parametroetan duen eragina azaldu da.
- **LV sarearen ezaugarriak dituen LISNaren sintesia:** Sarearen karakterizazio matematikotik eta $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISN motaren zirkuitutik abiatuz, LISN berriaren eskema elektronikoa proposatu egin da.

10. PROIEKTU PLANA ETA PLANIFIKAZIOA

Proiektu hau bukatu egin denez, ikerketa lanak burutu diren bitartean zereginen garapena nola egin den azalduko atal honetan. Hau azaltzeko, GrAL-aren garapenean zehar edukitako bileren zerrenda erabiliko da, egindako atazekin batera.

BILEREN PLANIFIKAZIOA			
Zk.	Data	Irakaslea/ Ikertzailea	Egiteko atazak – Bileraren azalpena
1.	2018/06/12	Amaia Arrinda eta TSR taldea	-GrAL proiektua egiteko lehenengo bilera. TSR taldeak eskaintzen zituen proiektuak azaldu ziren.
2.	2018/07/04	Amaia Arrinda	-GrAL-aren ikerketa lerroa definitzeko bilera: TSR taldeak jorratzen duen <i>"Communications for Smart Grids"</i> ikerketa lerroan egingo da.
3.	2018/07/11	Igor Fernandez	- <i>"Communications for Smart Grids"</i> ikerketa lerroaren hastapenak azaltzeko bilera. -Udan zehar David De la Vegak emailaz bidalitako bibliografia irakurtzea gomendatu da.
4.	2018/09/19	Amaia Arrinda	-GrAL-aren proiektua definitzeko bilera. -Gainera, Eusko Jaurlaritzaren IKASIKER beka eskatzeko dokumentazioa jaso zen.
5.	2018/12/04	Amaia Arrinda	-LISNen inguruko Artearen Egoera egitea adosten da. Egokitzapen-sare hauekin zein neurketa egiten diren, zein ekipamenduarekin, zein frekuentzia tartetan, etab. lortu behar da.
6.	2019/01/29	Amaia Arrinda	-LISNaren simulazioak ADSn egitea erabakitzen da.

7.	2019/02/05	Amaia Arrinda	<p>-CISPR erakundearen arauak kontsultatzea proposatzen da, LISNaren funtzionamendua ulertzeko.</p> <p>-Egindako simulazioekin txosten bat idazteko eskatzen da.</p> <p>-Egin den Artearen Egoeraren inguruko dokumentu bat prestatzea eskatzen da.</p>
8.	2019/02/12	Amaia Arrinda	<p>-Simulazioen txostenean, AENORen araudian eta LISNaren kalibrazio liburuan bildutako datuekin konparaketa egitea adosten da</p> <p>-LISN mota ezberdinen aplikazioa ikertzea eskatzen da.</p>
9.	2019/02/26	Amaia Arrinda	<p>-Gaizki dauden simulazioak identifikatzen dira eta berregitea proposatzen da.</p> <p>-Portuen arteko transferentzia kurbak karakterizatzea adosten da.</p> <p>-ADS programan lortutako simulazioen emaitzak Excel orri batera pasatzea proposatzen da.</p>
10.	2019/03/07	Amaia Arrinda	<p>-Simulazioen txostenean dauden datuak zuzenak direla egiaztatzen da.</p> <p>-Txosten honetan jorratutako simulazioen ondorioak idaztea erabakitzen da.</p>
11.	2019/03/12	Amaia Arrinda	<p>-Sare elektrikoaren karakterizazioa egitea eskatzen da.</p> <p>-Sarearen inpedantzia aldakor hau LISNaren simulazioetan eragina duten egiaztatzea eskatzen da.</p> <p>-LISNa emisioen neurketak egiterakoan duen konportamendua simulatzea adosten da.</p>

12.	2019/04/02	Amaia Arrinda	-Simulazioetan EUTek sortutako emisioak LISNean duten eragina kuantifikatzea eskatzen da.
13.	2019/04/09	Amaia Arrinda	-EUT ezberdinek sortzen duten emisioen eta inpedantzien simulazioak egitea erabakitzen da.
14.	2019/04/16	Amaia Arrinda	-Simulazio ezberdinak konparatzen dituen grafikoak egitea proposatzen da.
15.	2019/04/30	Amaia Arrinda	-Rx portuan neurgailuak neurtzen duen inpedantziatik EUTaren inpedantzia erreala lortzeko prozedura ikertzea adosten da.
16.	2019/05/06	Amaia Arrinda	-Aurreko astean proposatutako lana jarraitzea erabakitzen da. Hau lortzeko <i>"Characterization of the input impedance of household appliances in the FCC frequency band"</i> artikuluan idatzitakoa simulatzea eskatzen da [14].
17.	2019/06/05	Amaia Arrinda	-LISNen ziurgabetasun kontribuzioa ikertzea proposatzen da. -IEC 61000-4-7 arauan jasotako AMN bat karakterizatzea eskatzen da.
18.	2019/06/10	Amaia Arrinda	-LINS ezberdinen ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak egitea proposatzen da, R&S fabrikatzailearen <i>"R&S - AN Impedance Uncertainty Contribution"</i> kalkulagailuarekin -LV sarearen propietateak dituen LISN baten zirkuituan lan egitea adosten da

19.	12/06/2019	Amaia Arrinda	<p>-Inpedantzia ezberdinak duten EUTak LISNean eragiten duten konportamendua karakterizatzea eskatzen da: S parametroekin eta emisio simulazioekin.</p> <p>-EMC iragazkiak karakterizatzea eta LISNena duen eragina kuantifikatzea proposatzen da.</p> <p>-Ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitalak sortzea adosten da.</p> <p>-Emitza guztiekin txosten bat idaztea erabakitzen da.</p>
20.	13/06/2019	Amaia Arrinda David De la Vega Leire García	<p>-Tecnalia-ra bisita. EMC probak nola egiten dituzten ikusi zen. LISN baten muntaia eta funtzionamendua hobeto ulertzeko baliagarria izan zen.</p>
21.	2019/06/27	Amaia Arrinda	<p>-EMC iragazkien simulazioen inplementazioa txarto egin dela egiaztatzen da.</p> <p>-Emisioen simulazioak gaizki egin direla konprobatzen da.</p> <p>-Txarto simulatutako atazak errepikatzea adosten da.</p> <p>-Simulazioetatik lortutako ziurgabetasun kontribuzioaren emaitzen bitartez ziurgabetasun kontribuzio zirkunferentzia marrazten saiatzea eskatzen da.</p>
22.	2019/07/02	Amaia Arrinda	<p>-Simulazioak zuzenak direla egiaztatzen da.</p> <p>-Bakarrik GrAL-aren dokumentua idaztea adosten da</p>
23.	2019/07/05	Amaia Arrinda	<p>-GrAL dokumentuaren idazketan sortutako zalantzak argitzen dira.</p>

24.	2019/07/10	Amaia Arrinda	-GrAL dokumentuaren lehenengo bertsioaren zuzenketa egiten da. -GrAL dokumentuaren idazketan sortutako zalantzak argitzen dira.
25.	2019/07/12	Amaia Arrinda	-GrAL dokumentuaren bigarren bertsioaren zuzenketa egiten da.
26.	2019/07/17	Amaia Arrinda	-GrAL dokumentuaren hirugarren bertsioaren zuzenketa egiten da.

Taula 17: Bileren planifikazioaren taula

Bilera ezberdinetan proposatutako zereginenak taula batean jaso dira. Zerrenda honetan, lanen zehaztasunak eta epeak adierazi dira:

ZEREGINEN PLANIFIKAZIOA			
Kodea	Hasiera data	Amaiera data	Zereginak
Z1	11/07/2018	18/09/2018	PLC komunikazioei buruzko bibliografia aztertzea, irakurtzea eta gai honi buruzko informazio gehiago biltzea.
Z2	04/12/2018	28/01/2019	LISNen Artearen Egoera egitea: zertarako erabiltzen diren, LISN ezaugarriak, LISN funtzionamendua, eta abar.
Z3	29/01/2019	04/02/2019	R&S ENV216 LISNaren zirkuitu ADSn inplementatu eta funtzionamenduaren lehenengo simulazioak egitea.
Z4	05/02/2019	11/02/2019	LISNak arautzen duten araudia (CISPR 16-1-2) lortzea eta R&S ENV216 LISNaren funtzionamendua xedatzen duen araudian sakontzea.

Z5	05/02/2019	11/02/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin ($50 \Omega / (50 \mu H + 5 \Omega)$) egindako simulazio guztiak txosten batean biltzea eta hauetatik ateratako ondorioak idaztea.
Z6	05/02/2019	11/02/2019	Egindako LISNen Artearen Egoeraren informazioarekin txostena bat egitea
Z7	12/02/2019	25/02/2019	ADSn inplementatutako zirkuituaren simulazioen txostenean, lortutako simulazioen balioak, CISPR 16-1-2 araudiarekin eta R&S ENV216 LISNaren kalibrazio liburuarekin konparatzea.
Z8	12/02/2019	25/02/2019	LISNekin egiten diren neurketen Artearen Egoera: egiten diren neurketa motak, neurtzen diren parametroak, neurketen frekuentzia tartek, neurgailu mota, etab.
Z9	26/02/2019	06/03/2019	Egindako txostenean aurkitutako akatsak zuzentzea.
Z10	26/02/2019	06/03/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, egonkortze-sarearen portuen artean dauden transferentzia kurbak karakterizatzea.
Z11	26/02/2019	06/03/2019	Simulazioen datuak Excel orrietara pasatzea, hauen prozesaketa programa honetan egiteko.
Z12	07/03/2019	11/03/2019	ADSn egindako simulazioetan lortutako ondorioak simulazioen txostenean jasotzea.

Z13	12/03/2019	01/04/2019	LV sare elektrikoaren karakterizazioa egiten hastea. Sare elektrikoaren inpedantziaren bitartez, honen eredu matematikoa lortzea
Z14	12/03/2019	01/04/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, inpedantzia ezberdinak dituzten EUTak duten eragina kuantifikatzeko simulazioak egitea.
Z15	12/03/2019	01/04/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, LV sare elektrikoaren portutik neurgailuaren portura doazen emisioen iragazketa karakterizatzea.
Z16	02/04/2018	15/04/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, EUTek sortutako emisioak neurgailuaren portuan duten ahuldura karakterizatzea.
Z17	09/04/2019	15/04/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, inpedantzia ezberdinak dituzten EUTak erabiliz, neurgailuaren portuan dagoen sarrera-inpedantzia karakterizatzea.
Z18	16/04/2019	29/04/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin egindako simulazio guztien datuen prozesaketa egitea.
Z19	30/04/2019	04/05/2019	ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, inpedantzia ezberdinak dituzten EUTak erabiliz eta neurgailuaren portuan dagoen sarrera-inpedantziaren balioak edukita, EUTaren inpedantzia kalkulatzeko prozedura matematikoa zehaztea.

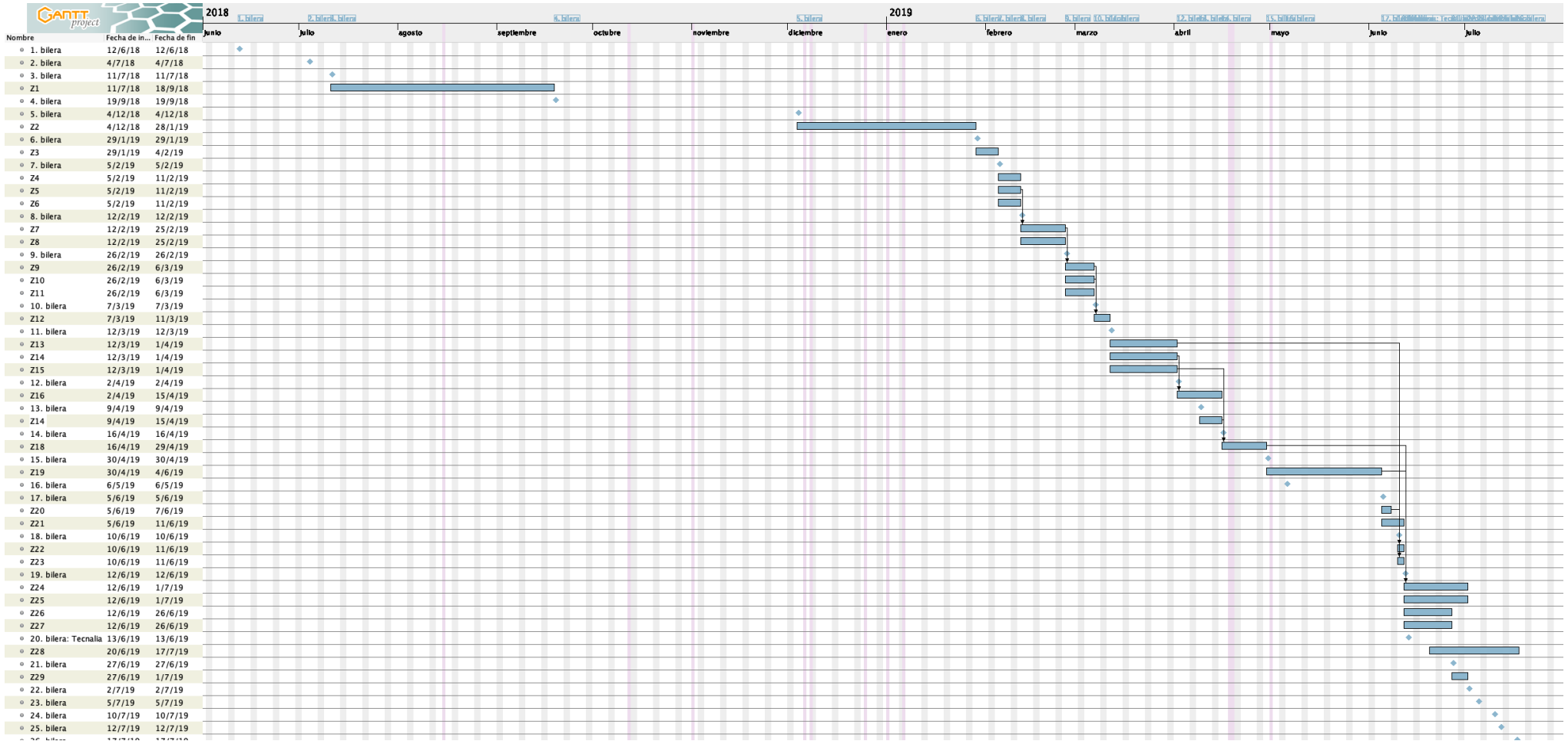
Z20	05/06/2019	07/06/2019	LISNen neurketen ziurgabetasun kontribuzioari buruzko lehenengo hastapenak ematea.
Z21	05/06/2019	11/06/2019	IEC 61000-4-7 araudian bildutako AMNaren zirkuitua ADSn inplementatzea eta egonkortze-sare honen funtzionamendua karakterizatzea.
Z22	10/06/2019	11/06/2019	LISNen neurketen ziurgabetasun kontribuzioa lortzeko kalkulu matematikoetan sakontzea.
Z23	10/06/2019	11/06/2019	LISN berriaren zirkuituaren sintesi sinplea egitea LV sare elektrikoaren inpedantziaren balioetatik abiatuz.
Z24	12/06/2019	01/07/2019	<p>ADSn inplementatutako LISNaren zirkuituarekin, simulazioen bigarren multzoa egitea. Simulatu beharreko atazak:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Inpedantzia ezberdinak duten EUTek transferentzia kurbetan duten eragina kuantifikatzea. -Inpedantzia ezberdinak duten EUTek neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantzia duten eragina karakterizatzea. -Inpedantzia ezberdinak duten EUTek sare elektrikoaren portuaren sarrera-inpedantzia duten eragina karakterizatzea. -Inpedantzia ezberdinak duten EUTek emisioen neurketan duten eragina kuantifikatzea.
Z25	12/06/2019	01/07/2019	<p>EMC iragazki komertzialak ADSn inplementatzea eta hurrengo simulazioak egitea:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Iragazkien sarrera-inpedantzia karakterizatzea. -Iragazkien portuen arteko transferentzia funtzioak kuantifikatzea.

			<p>-EMC iragazkiak LISNaren zirkuituaren EUT portuan konektatzea eta transferentzia kurbetan duten eragina kuantifikatzea.</p> <p>-EMC iragazkiak LISNaren zirkuituaren EUT portuan konektatzea eta neurgailuaren portuaren sarrera-impedantzia duten eragina karakterizatzea.</p> <p>-EMC iragazkiak LISNaren zirkuituaren EUT portuan konektatzea eta sare elektrikoaren portuaren sarrera-impedantzia duten eragina karakterizatzea.</p> <p>-EMC iragazkiak LISNaren zirkuituaren EUT portuan konektatzea eta emisioen neurketan duten eragina kuantifikatzea.</p>
Z26	12/06/2019	26/06/2019	<p>LISNen neurketen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitalak sortzea:</p> <p>-LISN motaren neurketen ziurgabetasun kontribuzio maximoa kalkulatu beharko dute.</p> <p>-LISN konkretu baten neurketen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatu beharko dute.</p>
Z27	12/06/2019	26/06/2019	<p>Egindako lanen txostena idaztea. Atal nagusiak:</p> <p>-EUT ezberdinek LISNaren funtzionamenduan duten eragina.</p> <p>-EMC iragazkien karakterizazioa eta LISNaren funtzionamenduan duten eragina.</p> <p>-LISNen neurketen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko duten euskarri digitalak.</p>
Z28	20/06/2019	17/07/2019	<p>GrAL dokumentua idatzi. Ikerketan egindako lanak, prozedura, helburuak, etab. azaltzen dituen dokumentua sortzea.</p>

Z29	27/06/2019	01/07/2019	50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motaren neurketen ziurgabetasun kontribuzio maximoa eta TSR laborategiko LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa biltzen duen "Tolerance Circle" diagrama sortzea.
-----	------------	------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Taula 18: Zereginen planifikazioaren taula

11. GANTT-EN DIAGRAMA



Irudia 51: Gantt-en diagrama

12. ARRISKUEN ANALISIA

Atal honen helburua proiektuaren garapenean zehar eman ahal ziren arriskuak ebaluatzea izango da; izan ere, proiektu hau burutu zen bitartean lana bertan behera utzi zezaketen hainbat gertaera eman zitezkeen. Proiektua amaitu egin denez, arrisku hauek era egokian kudeatu egin direla eta ezbeharrik gertatu ez dela ondoriozta daiteke.

Analisi hau egiteko, lehendabizi arriskuak identifikatu egin dira, eta hauen sailkapena egiteko bi kontzeptu nagusi hartu dira kontuan. Alde batetik, hauek gertatzeko probabilitatea balioetsi da. Bestetik, proiektuan duten eragina kuantifikatu da. Amaitzeko, hauek ekiditeko kontingentzia plan bat proposatzen da.

12.1. Simulazioen parametroen konfigurazio okerra (1)

Zirkuitu elektronikoen simulazioak egiterakoan hainbat parametro ezarri behar dira software programek lortu nahi diren emaitzak eman ditzaten. Parametro hauen konfigurazio zuzena izatea ezinbestekoa da, programek emandako balioen arabera simulazioak ematen dituztelako, nahiz eta hauek errealitatean lortu nahi diren gertaerekin erlaziorik ez izan. GrAL hau simulazioekin egindako proiektu bat denez, arrisku hau kontuan hartzea oso garrantzitsua da.

Arrisku hau ekiditeko, simulatu nahi diren gailuen *Data Sheet*-ean, edo datu-fitxan, bildutako informazioa era egokian inplementatu egin dela egiaztatzea proposatzen da. Gainera, behin emaitzak lortuta, hauek zuzenak direla ziurtatzeko, GrAL-eko zuzendariarekin egiaztatzea ere proposatzen da.

Arrisku hau gertatzeko probabilitatea nahiko handia da, lan guztia simulazioetan oinarritzen delako. Dena dela, proposatutako kontingentzia plana dela eta, proiektuan eragina izateko probabilitatea ez da hain altua.

12.2. Datuen galera (2)

Proiektu honen lan osoa erraminta informatikoen bidez egingo denez, lortuko diren emaitza guztiak formatu digitalean egongo dira. Hauek euskarri digitaletan gorde beharko dira, formatu fisikoetan, paperan adibidez, edukitzea bideraezina delako; hauek lortu eta gero egingo den prozesaketa eta datuen bolumena dela eta.

Datu digitalak ez galtzeko proposatzen den neurria informazio guztiaren segurtasun-kopiak edukitzea izango litzateke. Arrisku hau gertatzearen probabilitatea baxua den arren, proiektuan izango dezakeen eragina oso altua da.

12.3. Prozesatze astunak (3)

GrAL honetan garatutako simulazioetan lortutako emaitzen balioak Excel datu tauletan gordetzen dira. Simulazioa gehienak 0 Hz eta 30 MHz bitartean egiten dira eta, frekuentzian nahi den erresoluzioaren arabera, analizatu nahi den parametro bakoitzeko 6.000 eta 10.000 frekuentzia lagintze puntu lortzen dira. Informazio guzti hau lortu ostean, programa informatikoen bitartez datuak prozesatzen dira, lortu nahi diren parametroak kurbak eskuratzeko. Datuen bolumena oso handia bada prozesatze hau oso astuna izan daiteke.

Arrisku hau ekiditeko, parametroaren bereizmenaren eta datu bolumenaren arteko konpromisoa hartuko da, biak orekatuta egoteko. Nahiz eta arrisku hau nahi komuna izan, proiektuaren garapenean duen eragina oso txikia da.

12.4. Atzerapenak (4)

Lan honen planifikazioan, ezusteak direla eta, hainbat atzerapen gerta daitezke. Hauek proiektuaren zereginetan eragina izan dezakete eta ezarritako helburuak ez lortzea ekarri dezakete.

Egoera hau ekiditeko eginbeharren planifikazioa egitea proposatzen da, eta zeregin batekin ezin bada jarraitu hurrengoekin hastea proposatzen da. Arrisku honen probabilitatea ertaina den arren, emandako irtenbidearekin proiektuan ez du eragin handirik izango.

12.5. Arriskuen analisiaren laburpena

Atal honetan identifikatutako arrisku guztiak taula batena bildu dira ikuspegi zabalago bat edukitzeko:

		ERAGINA				
		Oso Baxua (0.05)	Baxua (0.1)	Moderatua (0.2)	Altua (0.4)	Oso altua (0.8)
PROBABILITATEA	Arraroa (0.1)					2
	Nekezkoa (0.3)					
	Posiblea (0.5)	4				
	Gerta daitekeena (0.7)	3				
	Ia ziurra (0.9)		1			

Taula 19: Arriskuen analisiaren laburpen taula

ALDERDI EKONOMIKOAK

13. AURREKONTUAREN DESKRIBAPENA

Atal honetan, GrAL hau garatzeak sortutako kostuak azalduko dira. Kostu guztiak lau ataletan banatuko dira: Barne orduak, amortizazioak, azpikontratazioak eta gastuak.

13.1. Barne orduak

Proiektu honetan parte hartu duten langileen kostua kuantifikatuko da hemen:

Partaidea	Kostua (€/orduko)	Ordu kopurua	Partaidearen kostua (€)
Senior ingeniaria	50,00 €/h	52 h	2.600,00 €
Junior ingeniaria	20,00 €/h	350 h	7.000,00 €
Barne orduen kostu totala:			9.600,00 €

Taula 20: Barne orduen taula

13.2. Amortizazioak

Atala honetan, proiektuan erabilitako baliabideen amortizazioak aztertuko da:

Baliabidea	Kostua (€)	Bizitza erabilgarria (ordu)	Ordu kopurua	Baliabidearen kostua (€)
Senior ing. ordenagailua	1500,00 €	5.000 h	52 h	15,60 €
Junior ing. ordenagailua	2499,00 €	5.000 h	350 h	174,93 €
ADS Keysight lizentzia	2.000,00 €	5.000 h	225 h	90,00 €
R&S ENV216 LISNa	1.935,00 €	5.000 h	3 h	1,16 €
Amortizazioen kostu totala:				281,69 €

Taula 21: Amortizazioen taula

13.3. Gastuak

GrAL burutzeko erabili den materialaren gastuaren aitortpena egingo da hemen:

Baliabidea	Kostua (€)
Fotokopiak	45,00 €
Orri zuriak	2,00 €
Pendrive-a	12,00 €
Guztira:	59,00 €

Taula 22: Gastuen taula

13.4. Diru-laguntzak

Proiektu hau garatzeko junior ikertzaileak, ikerkuntza eta ikasketak batera egiteko, Eusko Jaurlaritzaren IKASIKER diru-laguntza jaso egin du:

Diru-laguntza programa	Zenbatekoa (€)
IKASIKER 2018/2019	2500,00 €
Guztira:	2500,00 €

13.5. Aurrekontua

Behin ataza guztiak zatika analizatu direla, aurrekontuaren guztizkoa jaso da:

Ataza	Kostua (€)
Barne orduak	9.600,00 €
Amortizazioak	281,69 €
Azpikontratazioak	0,00 €
Gastuak	59,00 €
Diru-laguntzak	- 2.500,00 €
Guztira:	7.440,69 €

ONDORIOAK

GrAL honetan garatutako proiektua laburbiltzeko asmoz, atal honetan lan osoan zehar jorratutakoa aipatuko da.

Proiektu hau, TSR taldearen “Communication for Smart Grid” ikerketa lerroan kokatzen da. Talde honek erositako *R&S ENV216* LISNaren funtzionamendua karakterizatzearen beharraren ondorioz sortu zen ikerketa lan hau.

Proiektu honen xedea hiru helburu garrantzitsuetan laburbil daiteke: LISNen funtzionamenduaren karakterizazioa, LISNek duten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulua eta LV sare elektrikoaren ezaugarriak dituen LISN berri baten sintesia. Jomuga hauek lortzeko, TSR taldearen eskutik hainbat eduki jaso ziren: LISNen araudi teknikoa, *R&S ENV216* LISNaren dokumentazioa, sarearen inpedantziaren neurketak, EMC iragazki komertzialen informazioa eta neurketak, etab. Hauekin guztiekin, xedatutako helburuak lortzeko beste hainbat eduki sortu dira: LISN simulazioen grafikoak, LISNen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko euskarri digitalak, sarearen karakterizazio matematikoa, LISN berriaren eskema elektrikoa, eta abar.

GrAL hau garatu ostean, ikerketa lerro honetan lanean jarraitzen duten ikertzaileek, proiektuan landutakoa erabilgarri izan diezaieke, hurrengo kasuetan:

- GrAL honetan sortu diren ziurgabetasun kontribuzioen kalkulua egiten dituzten baliabide digitaletatik abiatuz, LISN berrien sintesia egitea; LISNek EUTaren portuan duten sarrera-inpedantziaren tolerantzia murrizteko helburuarekin.
- Proiektu honetan garatutako euskarri eta teknikekin, arau tekniko berriek proposatutako LISNak aztertzea. Egonkortze sare hauen funtzionamendu parametroak, emisio neurketetan EUTn eragina, LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa, eta abar kuantifika daitezke proiektu honetan egindako proposamen teknikoarekin.
- Lan honetan egonkortze-sareen analisitik abiatuz, baita LISN eta EMC iragazkien zirkuituak ADSn inplementatzeko gomendioak ere kontuan izanda, egonkortze-

sareen zirkuitu berrien sintesia egin ostean, zirkuitu errealak eta simulazioak konparatzeko inguruneak prestatu ahal izatea.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR), «CISPR 16-1-2:2014+AMD1:2017 CSV Consolidated version: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurements,» International Electrotechnical Commission, 2017.
- [2] AENOR, «UNE-EN 55016-1-2:2015. Especificación para los métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 1-2: Aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad,» AENOR, Madrid, 2015.
- [3] Red Eléctrica de España, «¿Qué son las Smartgrid?,» [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid>. [Atzitze-data: 25 06 2019].
- [4] Boletín Oficial del Estado, «Orden IET/290/2012, de 16 de febrero, por la que se modifica la Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008 en lo relativo al plan de sustitución de contadores.,» 2012/02/21. [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-2538. [Atzitze-data: 25 06 2019].
- [5] L. Lampe, A. M. Tonello eta T. G. Swart, Power Line Communications Principles, Standars and applications from multimedia to Smart Grid, New Delhi: John Wiley & Sons, 2010.
- [6] PRIME Alliance, «Technology | PRIME Alliance,» 2013. [Online]. Available: https://www.prime-alliance.org/?page_id=748. [Atzitze-data: 26 06 2019].
- [7] PRIME Alliance, «PRIME v1.4 White Paper,» [Online]. Available: https://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2014/10/whitePaperPrimeV1p4_final.pdf. [Atzitze-data: 26 06 2019].
- [8] PRIME Alliance, «PRIME. Technology Whitepaper. PHY, MAC and Convergence layers,» 2018/07/21. [Online]. Available: <https://www.prime-alliance.org/wp>

- content/uploads/2013/03/MAC_Spec_white_paper_1_0_080721.pdf. [Atzitze-data: 26 06 2019].
- [9] TSR, «Communications for Smart Grids,» [Online]. Available: http://www.ehu.eus/tsr_radio/index.php/research-areas/communications-for-smart-grids. [Atzitze-data: 26 06 2019].
- [10] I. Fernandez, A. Arrinda, I. Angulo, D. d. I. Vega, N. Uribe eta A. Llano, «Field trials for the Empirical Characterization of the Low Voltage Grid Access Impedance from 35 kHz to 500 kHz,» *IEEE Access*, 2019.
- [11] Mouser Electronics, Inc., «EMC Filters - EPCOS / TDK EMC Filters,» Mouser Electronics, Inc., [Online]. Available: https://www.mouser.es/new/EPCOS/epcos_emclinefilter/. [Atzitze-data: 2019 07 17].
- [12] IEC: International Electrotechnical Commission, «Structure of CISPR 16,» [Online]. Available: https://www.iec.ch/emc/basic_emc/basic_cispr16.htm. [Atzitze-data: 04 07 2019].
- [13] EMC - EV, «EMC - EV | LISN (Line Impedance Stabilization Network) or AN (Artificial Network),» EMC - EV, [Online]. Available: <http://www.flexautomotive.net/EMCFLEXBLOG/post/2015/09/14/lisn-line-impedance-stabilization-network-or-an-artificial-network>. [Atzitze-data: 2019 07 16].
- [14] M. A. O. Kharraz, C. Lavenu, P. Jensen, D. Picard eta M. Serhir, «Characterization of the input impedance of household appliances in the FCC frequency band,» in *2017 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC)*, Madrid, 2017.
- [15] A. de Beer, G. Wooding eta J. van Wyk, «Problematic Aspects when using a LISN for Converter EMI Characterisation,» *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2013.
- [16] C. Tsui, H. Lai eta H. Li, «Calibration of AMN/LISN at SCL,» in *2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018)*, Paris, 2018.

- [17] OrCAD, «OrCAD Capture | OrCAD,» [Online]. Available: <https://www.orcad.com/products/orcad-capture/features>. [Atzitze-data: 2019 07 06].
- [18] Keysight Technologies, «Advanced Design System (ADS),» [Online]. Available: <https://www.keysight.com/en/pc-1297113/advanced-design-system-ads>. [Atzitze-data: 2019 07 06].
- [19] L. Capponi, I. Fernández, D. Roggo, A. Arrinda, I. Angulo eta D. De la Vega, «Comparison of measurement methods of grid impedance for Narrow Band-PLC up to 500 kHz,» in *2018 IEEE 9th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)*, Bologna, 2018.
- [20] AC Filter 2-Stage, «SCHURTER,» [Online]. Available: https://www.schurter.com/en/datasheet/typ_FM52.pdf. [Atzitze-data: 23 06 2019].
- [21] AC Filter 2-Stage, Very High Symmetrical Attenuation, «SCHURTER,» [Online]. Available: https://www.schurter.com/en/datasheet/typ_FSS.pdf. [Atzitze-data: 23 06 2019].
- [22] AC Filter 2-Stage, Very High Symmetrical and Asymmetrical Attenuation, «SCHURTER,» [Online]. Available: https://www.schurter.com/en/datasheet/typ_FSW.pdf. [Atzitze-data: 23 06 2019].
- [23] Rhode & Schwarz, «Impedance Uncertainty Contribution of Artificial Networks (AN, AMN and ISN). Application Note,» 2010. [Online]. Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ee23/1EE23_0e.pdf. [Atzitze-data: 23 06 2019].
- [24] Rohde & Schwarz, «Calibration Certificate. Certificate Number 17-725035,» Rohde & Schwarz, Vimperk, 2018.
- [25] ITU-T, «G.9904 : Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for PRIME networks,» 10 2012. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9904-201210-1!!PDF-E&type=items. [Atzitze-data: 25 06 2019].

- [26] AENOR, «UNE-EN 55032:2016. Compatibilidad electromagnética de equipos multimedia. Requisitos de emisión.,» AENOR, Madrid, 2016.
- [27] C. J. Kikkert eta S. Zhu, «Measurement of Powerlines and Devices Using an Inductive Shunt On-Line Impedance Analyzer,» in *2015 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, Austin, 2015.
- [28] Rohde & Schwarz, «Operating Manual. Two Line V-Network. R&S ENV216.,» Rohde & Schwarz, Munich.
- [29] P. Wright, «Annex I – JRP protocol. 18NRM05 SupraEMI. Grid measurements of 2 kHz -150 kHz harmonics to support normative emission limits for mass-market electrical goods,» National Physical Laboratory, London, 2019.
- [30] I. Fernandez, A. Arrinda, I. Angulo, D. De la Vega, N. Uribe eta A. Llano, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8743370>. [Atzitze-data: 23 06 2019].

I. ERANSKINA: ADS SIMULAZIOEN EMAITZAK

I. ERANSKINAREN AURKIBIDEA

1.	Sarrera	99
2.	LISNaren karakterizazioa	99
3.	Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa	102
4.	LISNaren konportamendua emisioen neurketan	107
5.	EMC iragazki komertzialen karakterizazioa	109
5.1.	EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina	112
5.2.	EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina.....	117

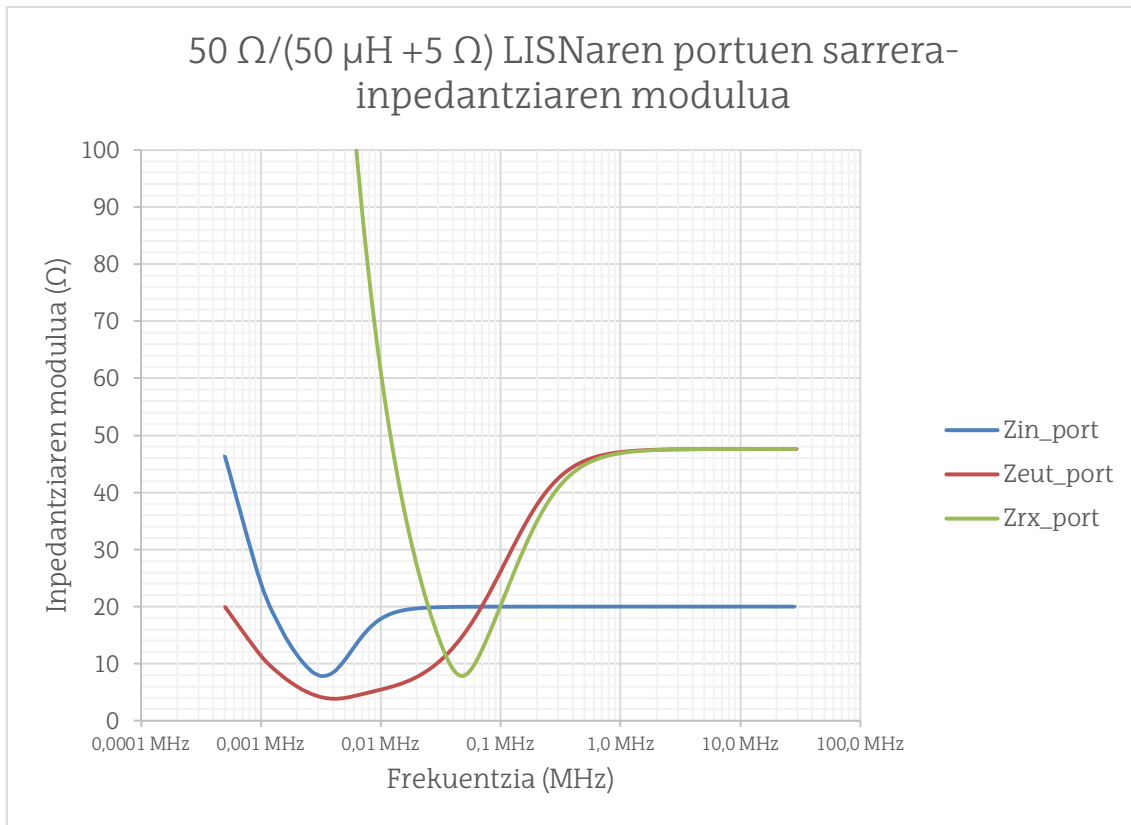
1. Sarrera

Eranskin honen bitartez, GrAL proiektu honetan garatutako irtenbidearen ADS programan egindako simulazioetan lortutako emaitzak adieraziko dira.

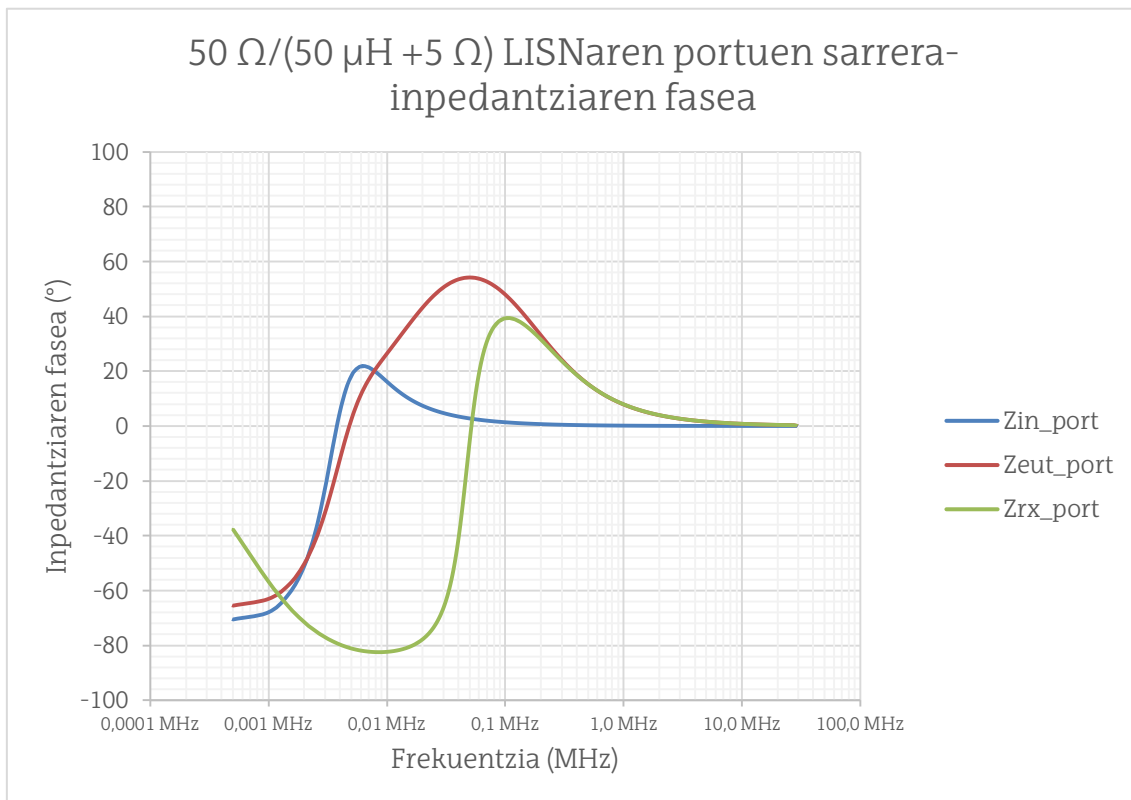
2. LISNaren karakterizazioa

Frekuentzia (MHz)	Z_{EUT_port} portuaren sarrera-impedantzia			
	Simulazioen emaitzak		UNE-EN 55016-1-2 [2]	
	Inpedantziaren modulua (Ω)	Inpedantziaren fasea ($^\circ$)	Inpedantziaren modulua (Ω)	Inpedantziaren fasea ($^\circ$)
0,009	5,228	23,806	5,22	26,55
0,015	6,546	36,434	6,22	38,41
0,020	7,717	43,291	7,25	44,97
0,025	8,896	47,578	8,38	49,39
0,030	10,196	50,548	9,56	52,33
0,050	15,374	54,154	14,41	56,40
0,070	20,115	52,651	19,04	55,40
0,080	22,337	51,199	21,19	54,19
0,100	26,182	47,928	25,11	51,22
0,150	33,366	39,688	32,72	43,35
0,170	35,414	36,809	36,50	43,11
0,200	37,821	33,040	39,12	38,51
0,250	40,608	27,983	42,18	38,42
0,300	42,402	24,148	44,17	27,95
0,350	43,617	21,153	45,52	24,45
0,400	44,464	18,782	46,46	21,70
0,500	45,524	15,304	47,65	17,66
0,700	46,515	11,111	48,76	12,81
0,900	46,941	8,704	49,24	10,03
1,000	47,068	7,848	49,38	9,04
1,500	47,372	5,260	49,72	6,06
2,000	47,479	3,952	49,84	4,55
2,500	47,529	3,164	49,90	3,64
3,000	47,557	2,637	49,93	3,04
4,000	47,584	1,979	49,96	2,28
5,000	47,597	1,583	49,98	1,82
7,000	47,608	1,131	49,99	1,30
10,00	47,613	0,792	49,99	0,91
15,00	47,617	0,528	50,00	0,61
20,00	47,618	0,396	50,00	0,46
30,00	47,618	0,264	50,00	0,30

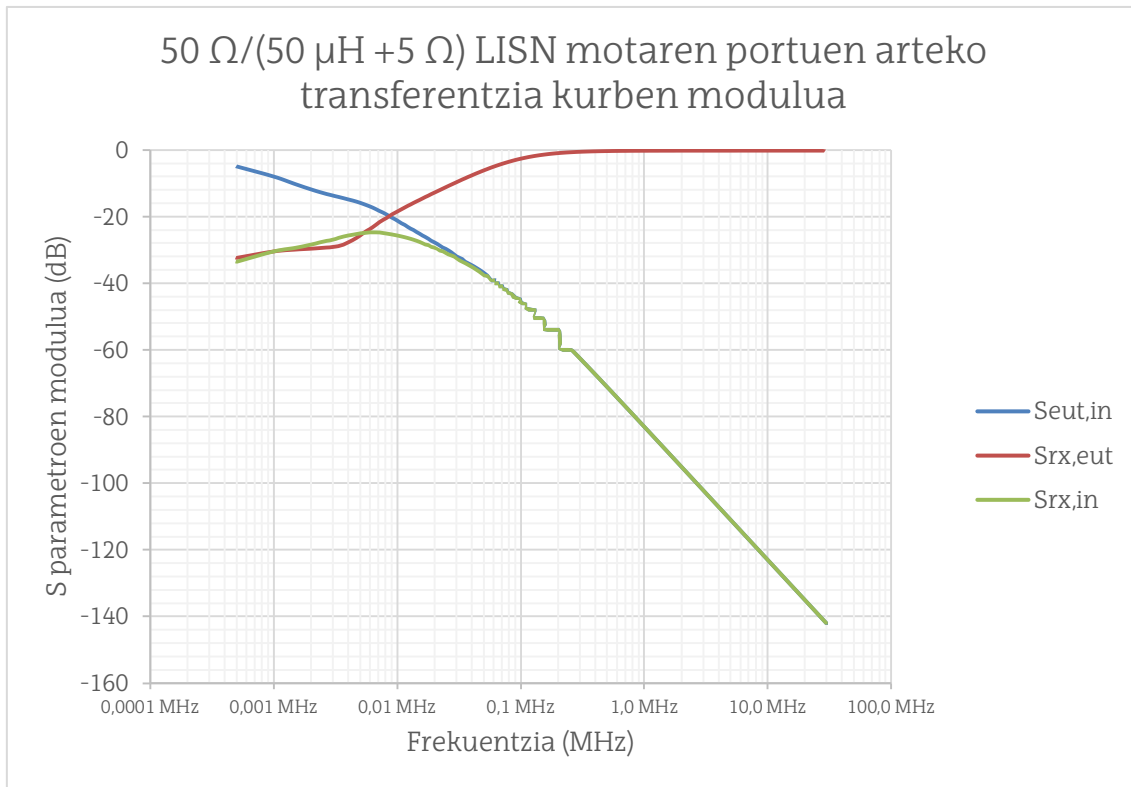
Taula 23: Z_{EUT_port} portuaren sarrera-impedantziaren simulazioen emaitzak eta UNE-EN 55016-1-2 arauak xedatutako balioak [2]



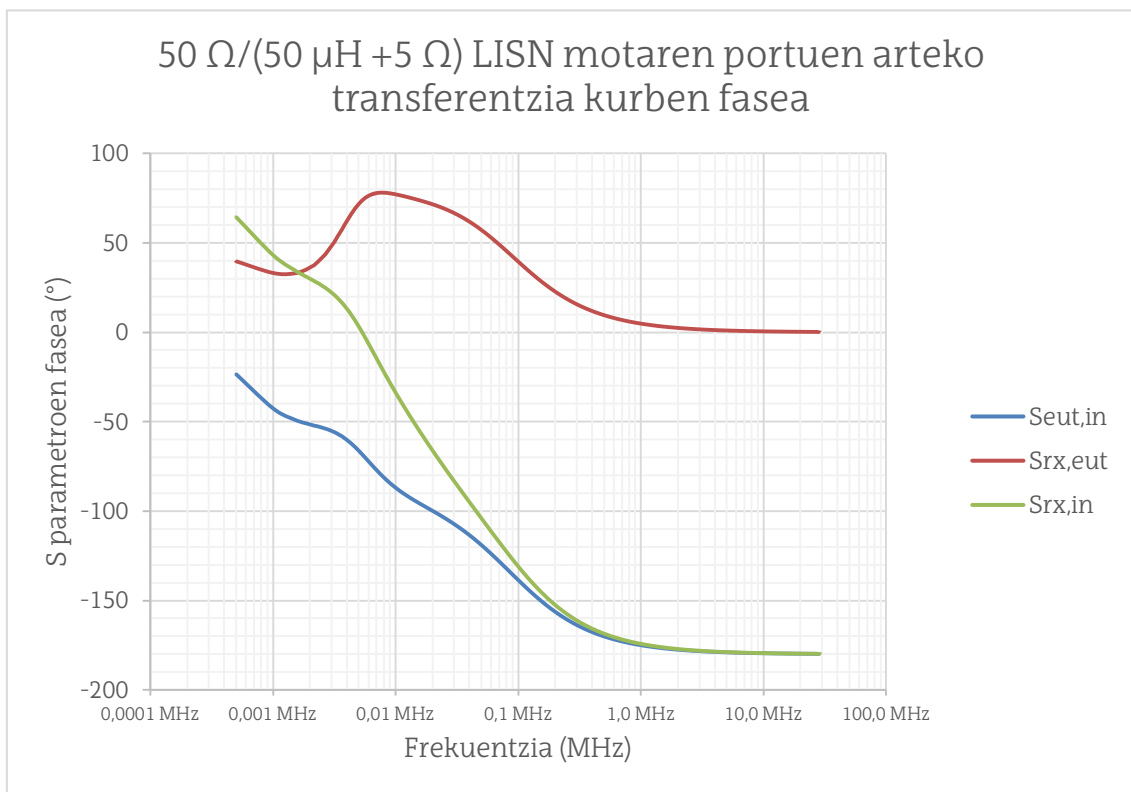
Grafikoa 6: 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISNaren portuen sarrera-impedantziaren modulua



Grafikoa 7: 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISNaren portuen sarrera-impedantziaren fasea

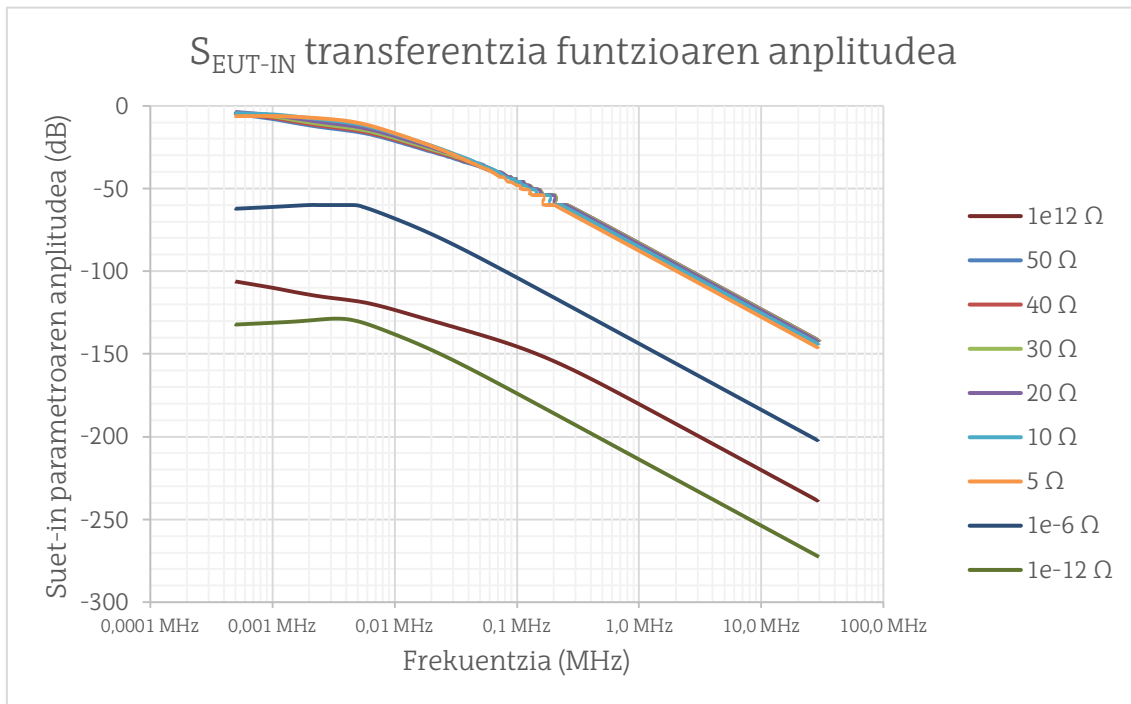


Grafikoa 8:50 Ω /(50 μ H +5 Ω) LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben modulua

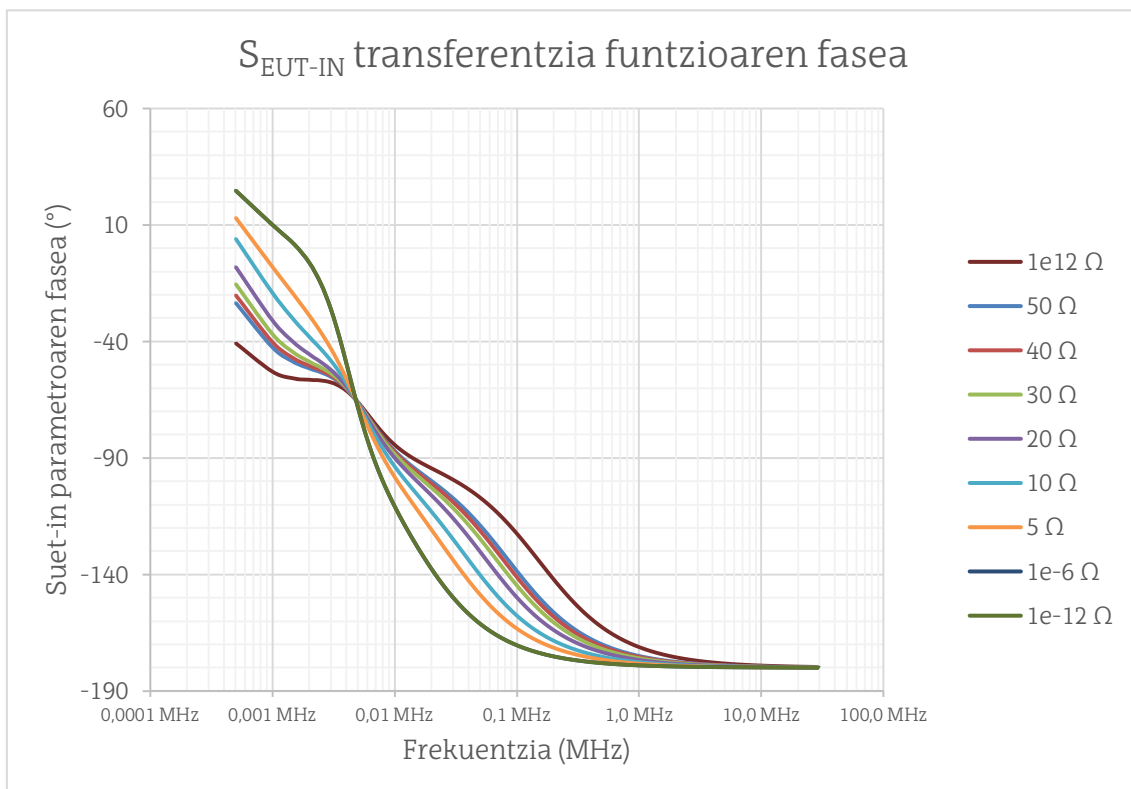


Grafikoa 9: 50 Ω /(50 μ H +5 Ω) LISN motaren portuen arteko transferentzia kurben fasea

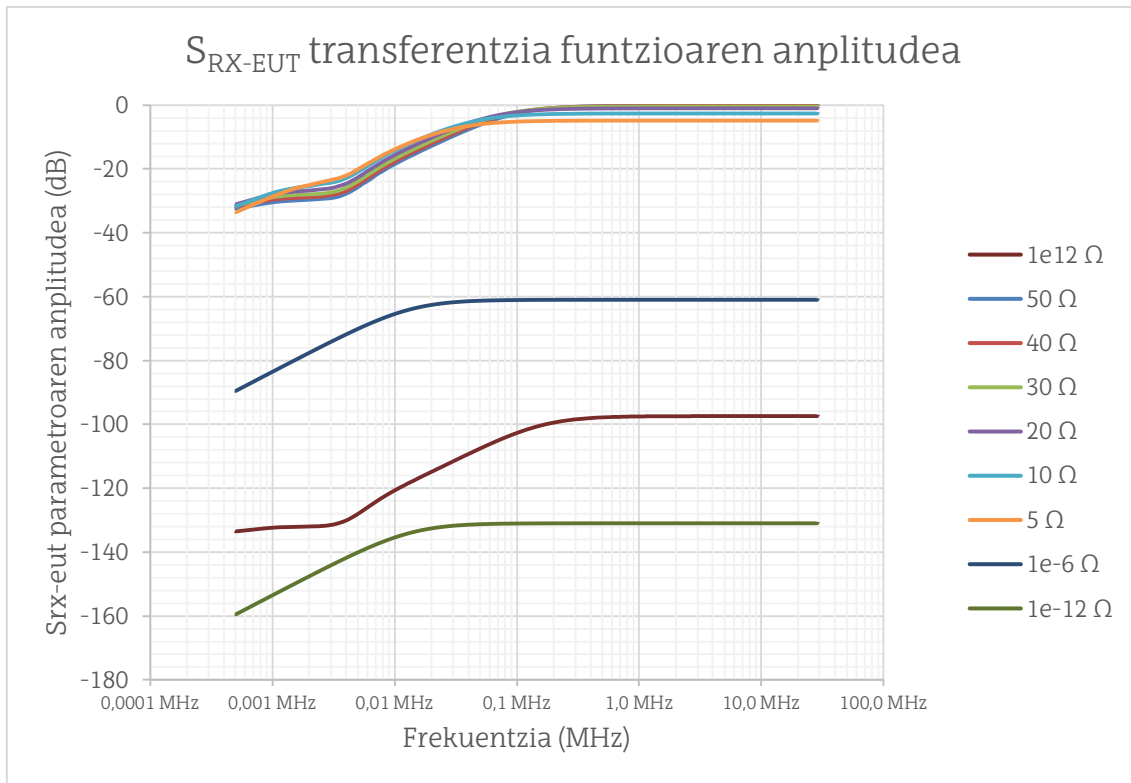
3. Inpedantzia ezberdinak duten EUTn aurrean LISNak duen konportamenduaren karakterizazioa



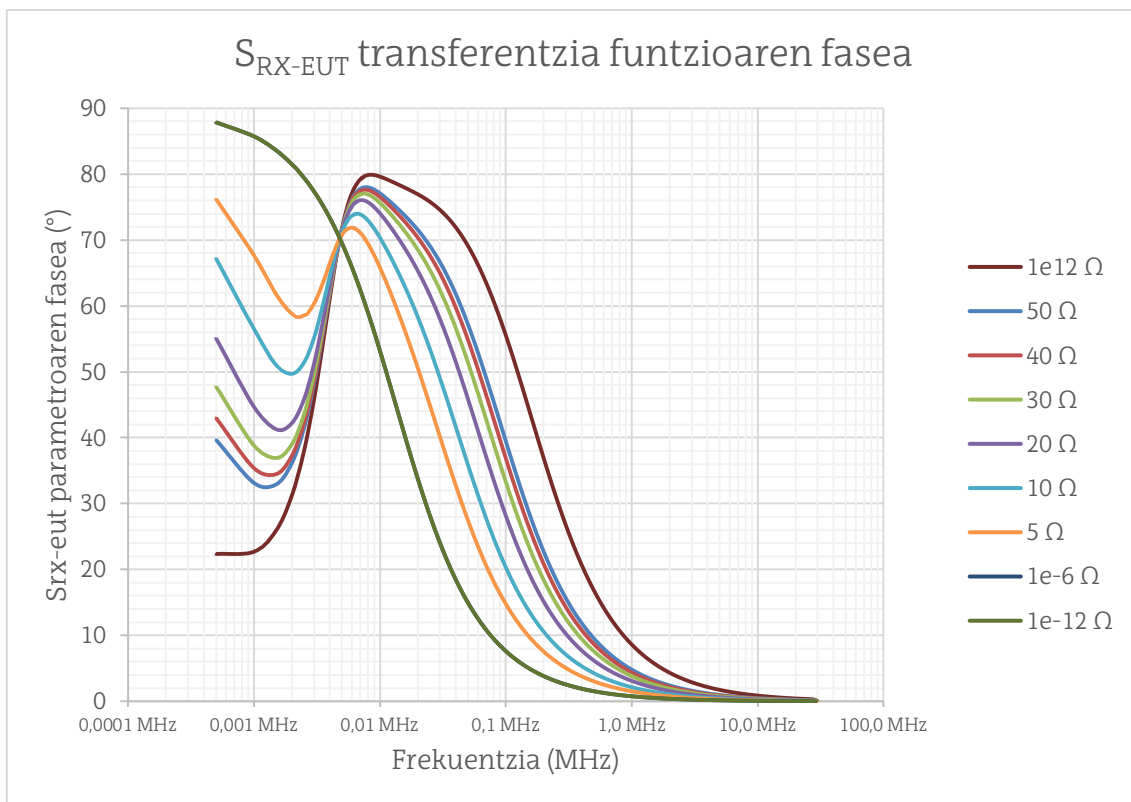
Grafikoa 10: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea



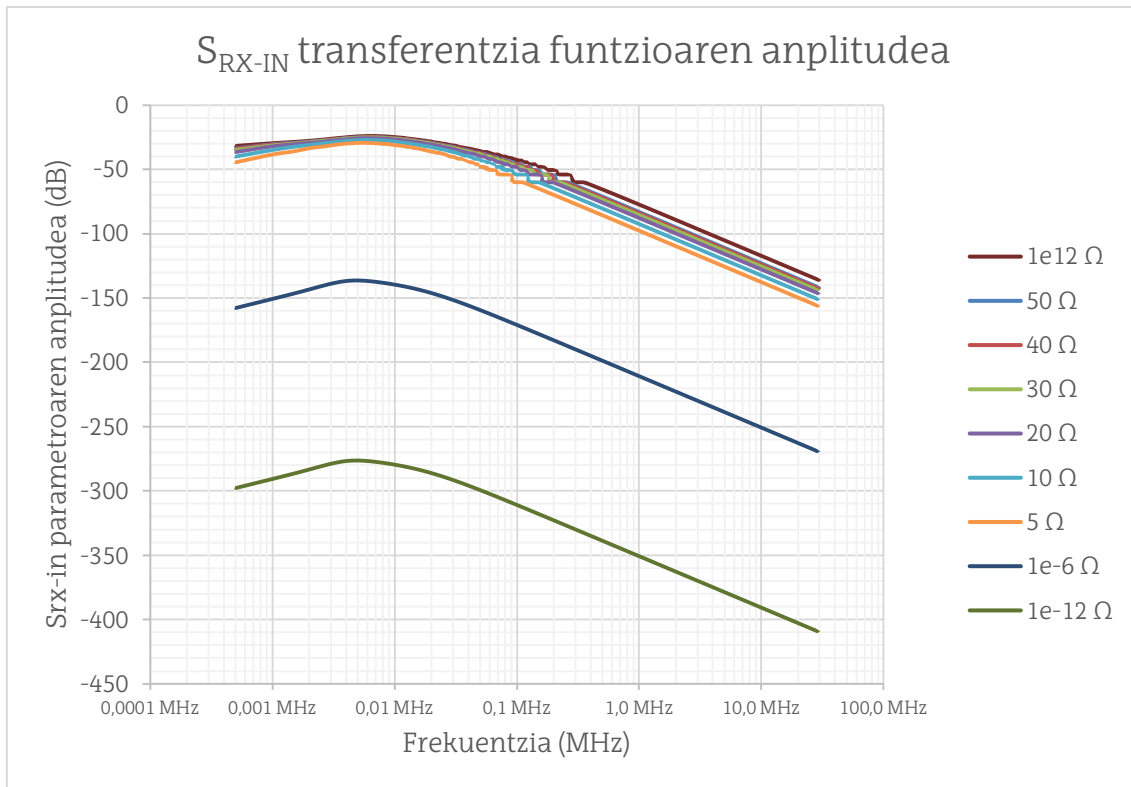
Grafikoa 11: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea



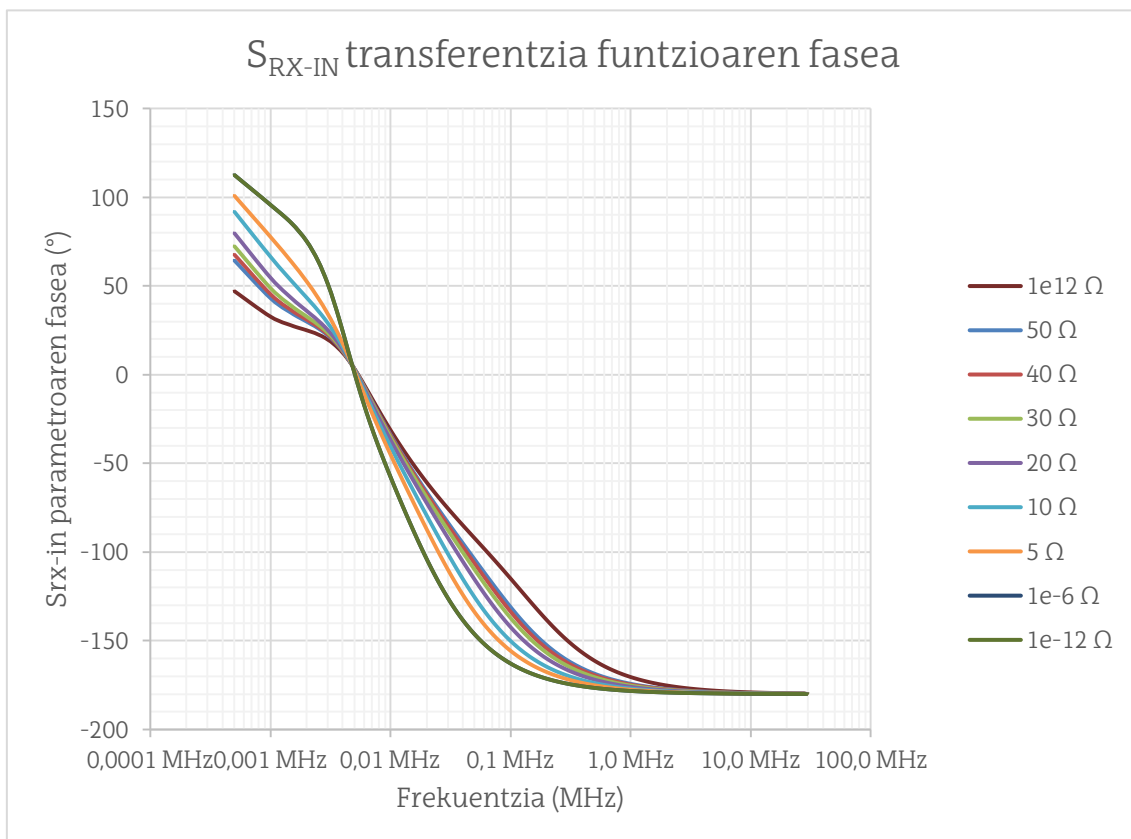
Grafikoa 12: S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren anplitudea



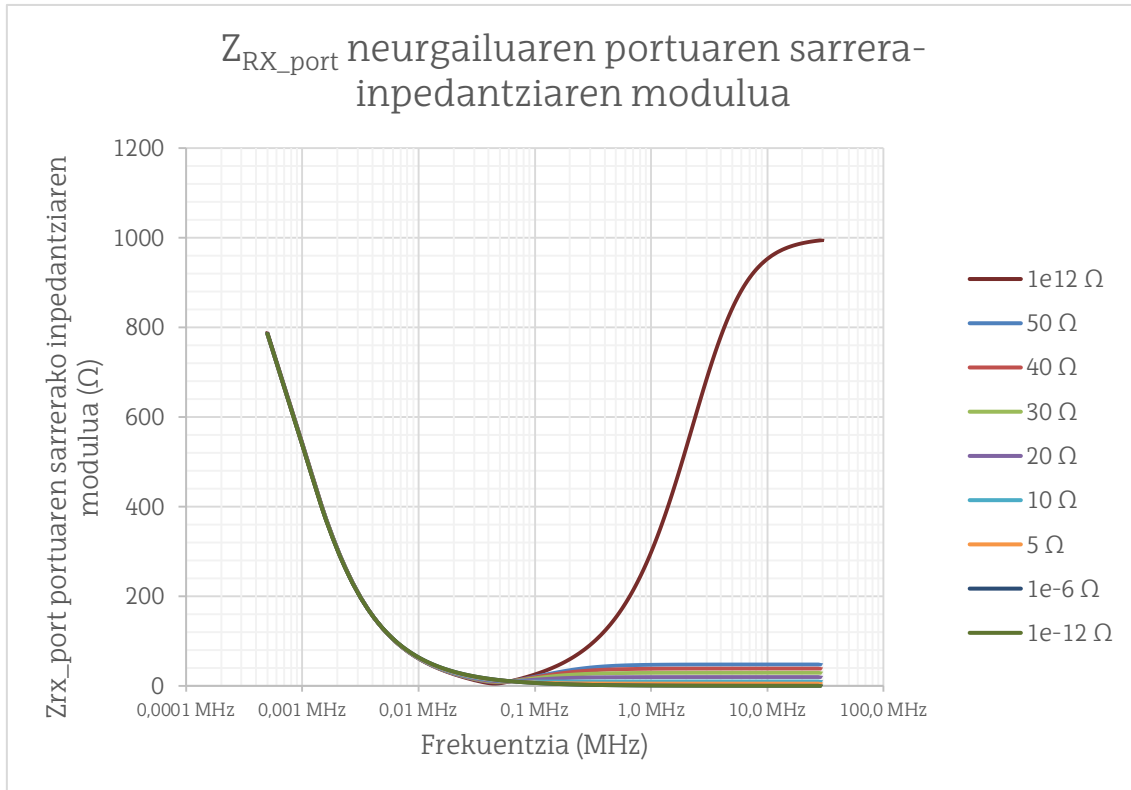
Grafikoa 13: S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren fasea



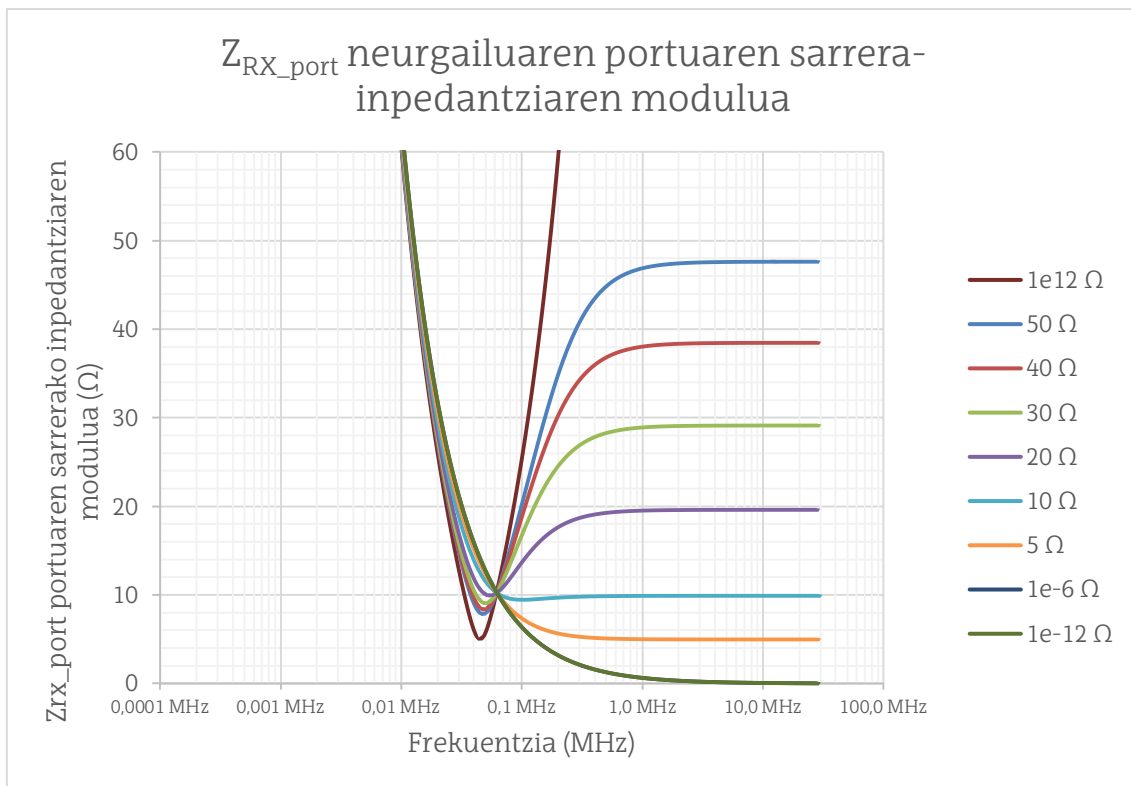
Grafikoa 14: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea



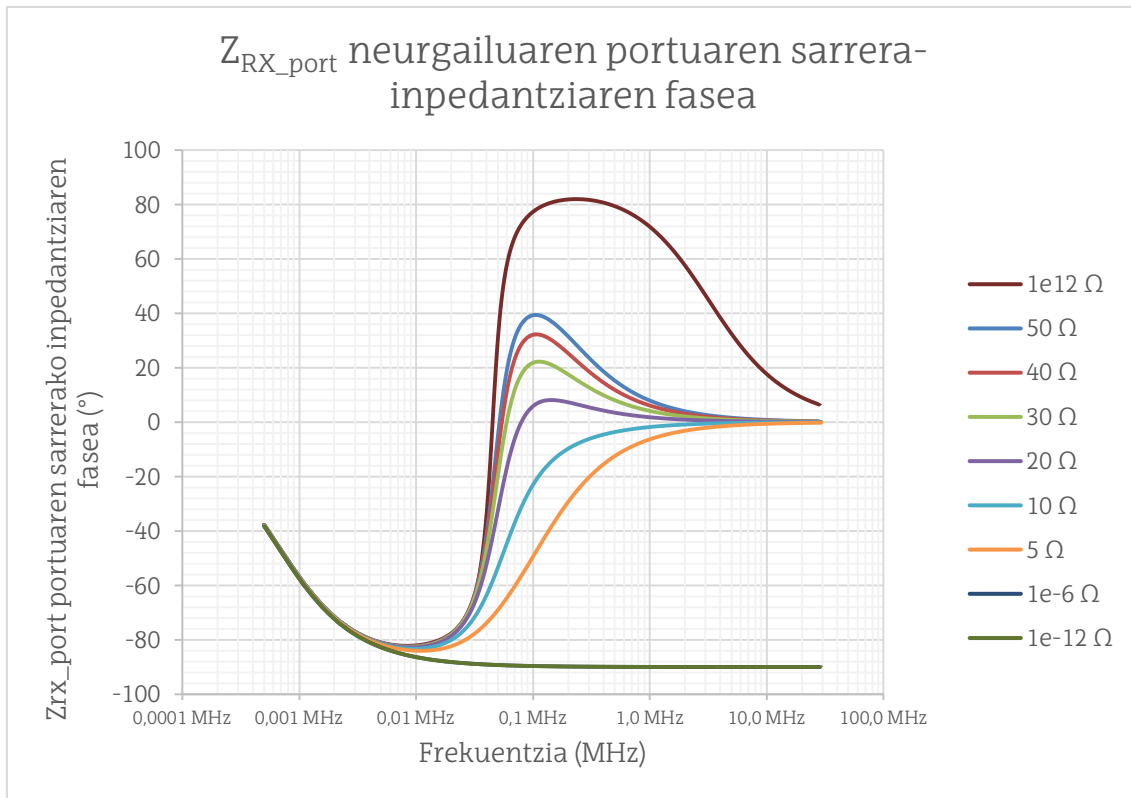
Grafikoa 15: S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea



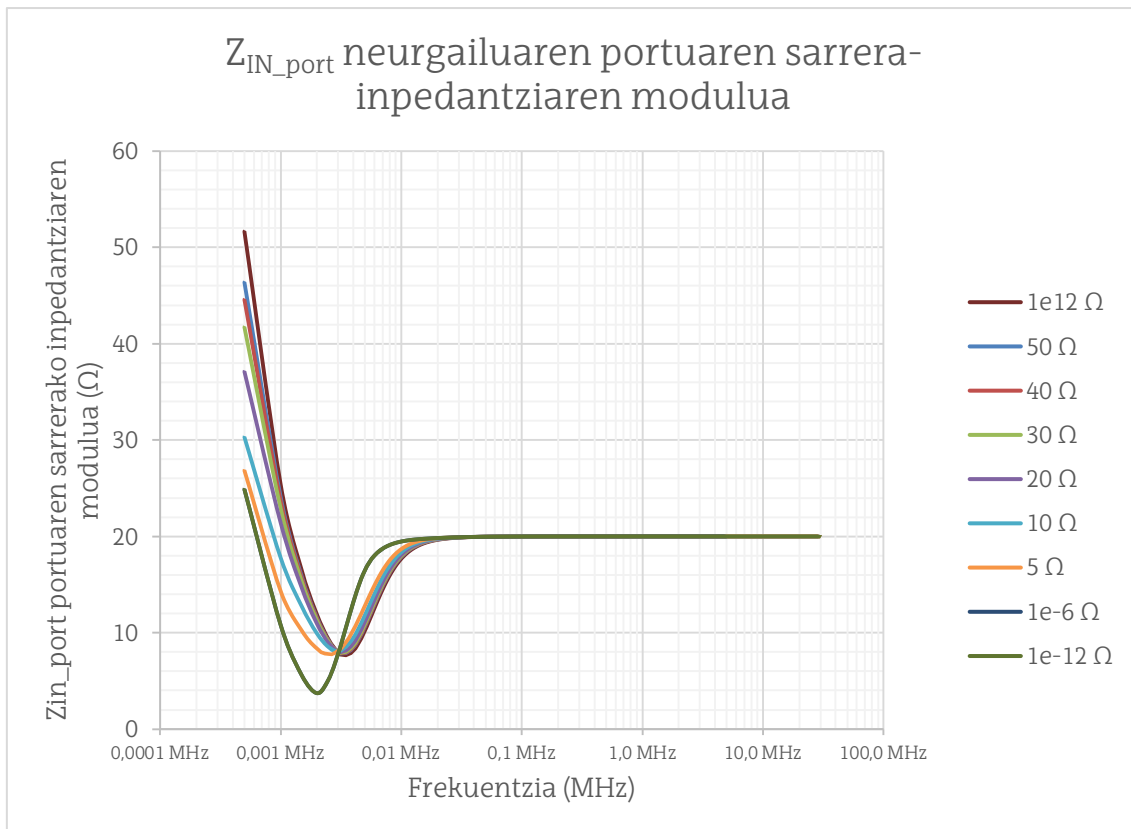
Grafikoa 16: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren modulua



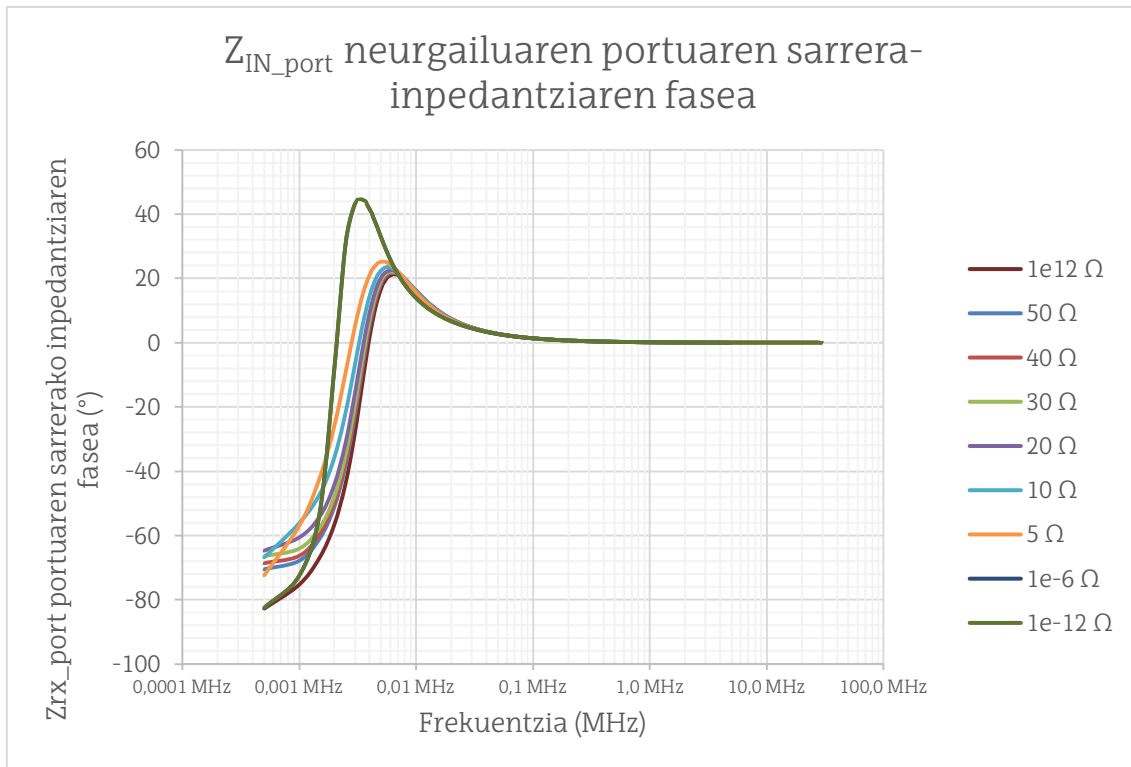
Grafikoa 17: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren modulua (handipena)



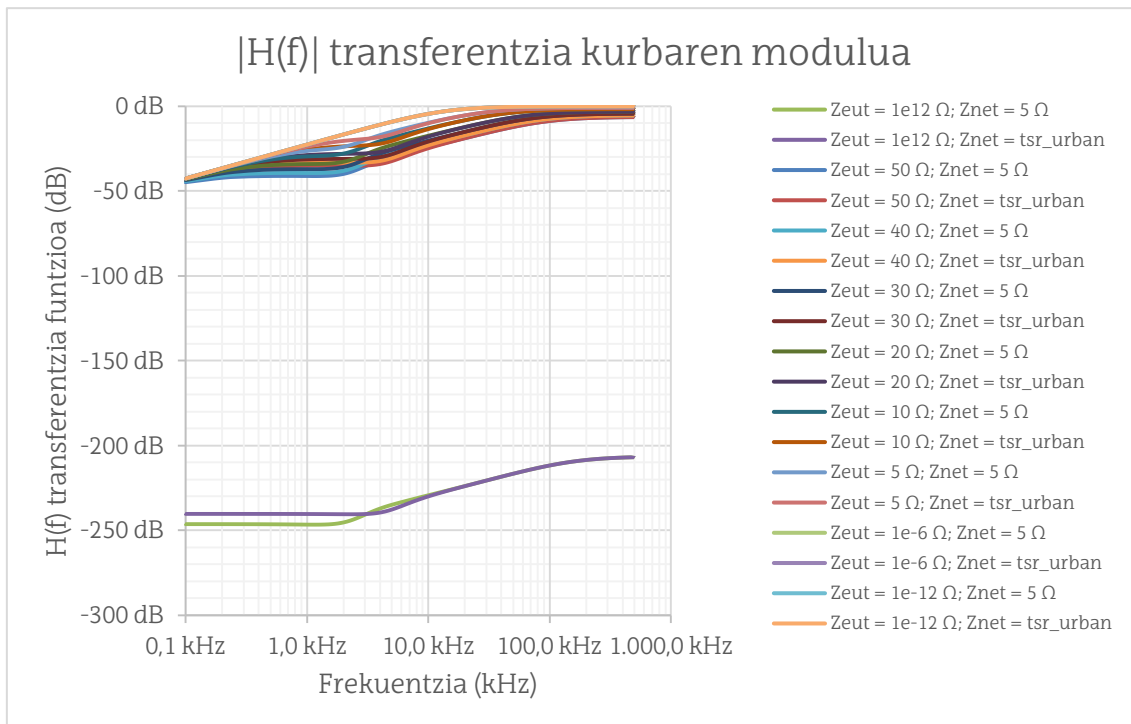
Grafikoa 18: Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren fasea

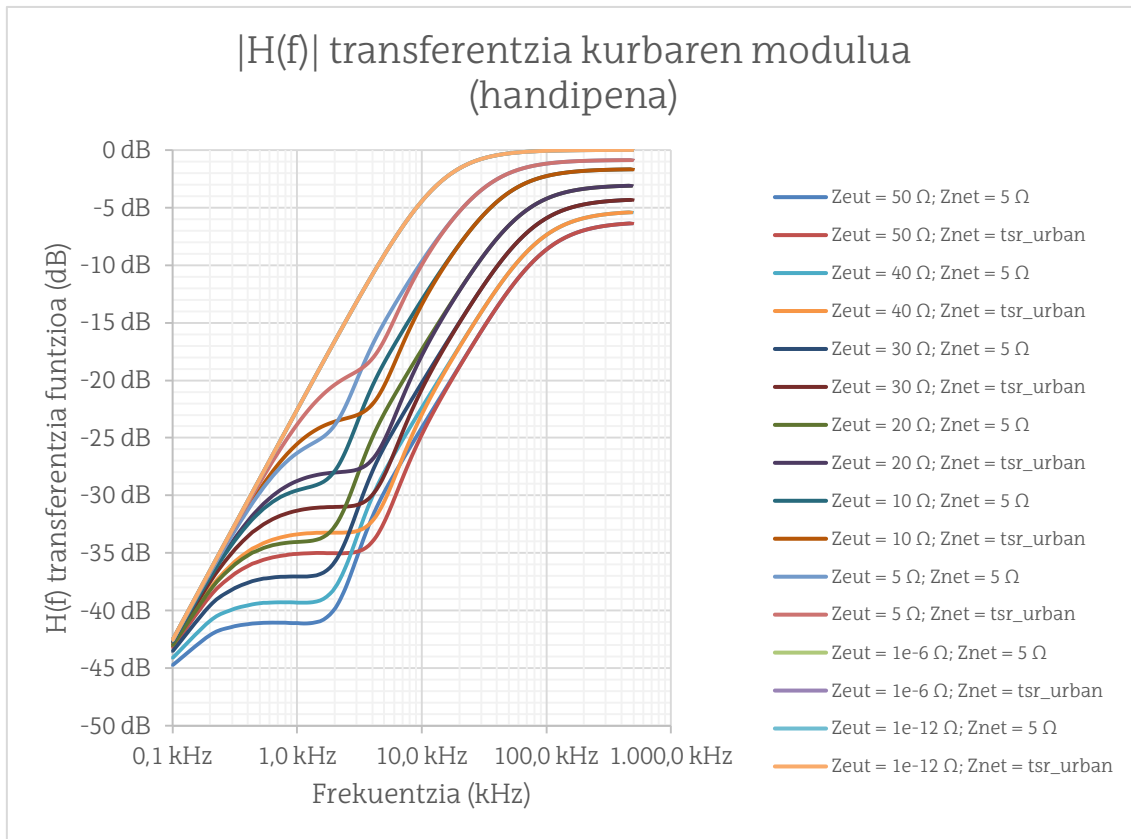


Grafikoa 19: Z_{IN_port} neurgailuaren portuaren sarrera-inpedantziaren modulua

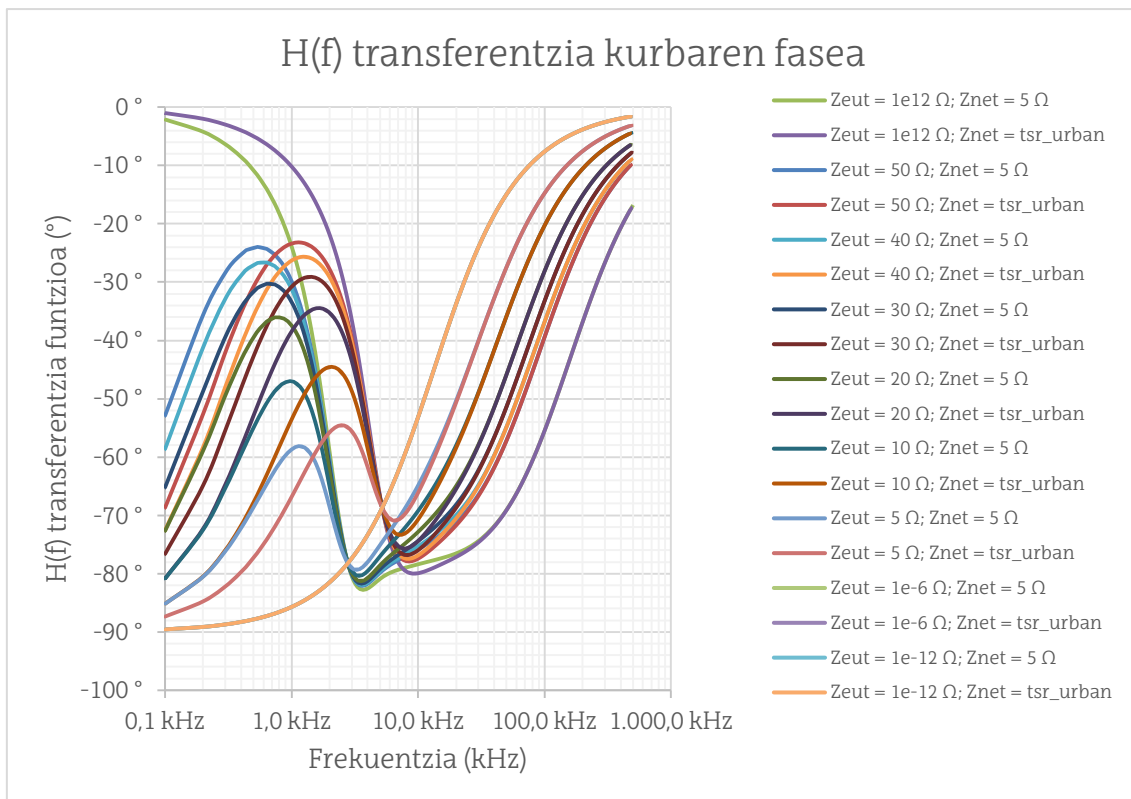


4. LISNaren konportamendua emisioen neurketan



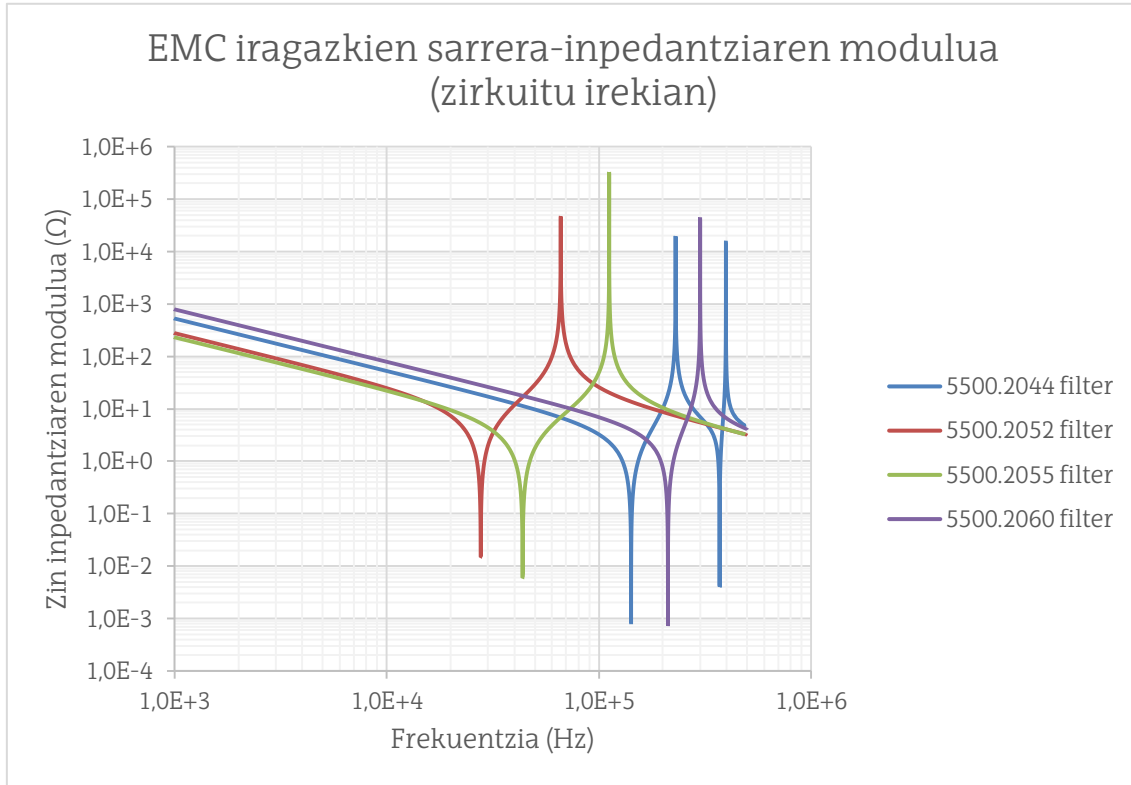


Grafikoa 22: |H(f)| transferentzia kurbaren modulua (handipena)

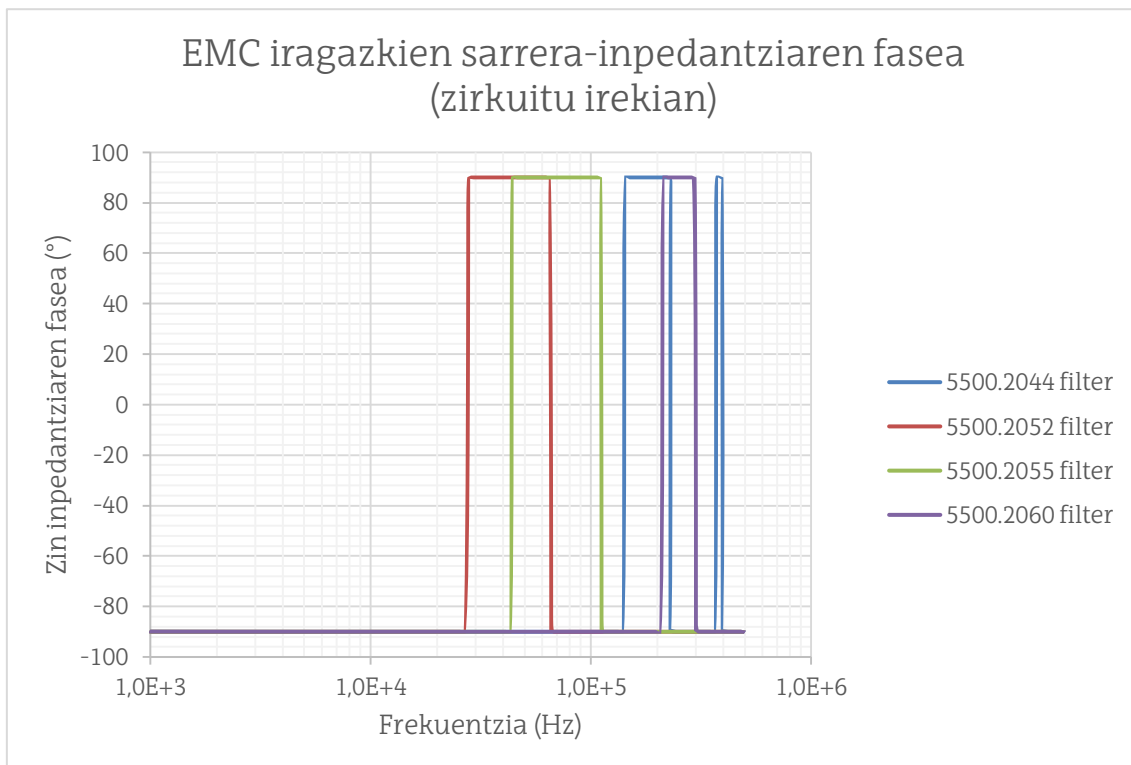


Grafikoa 23: H(f) transferentzia kurbaren fasea

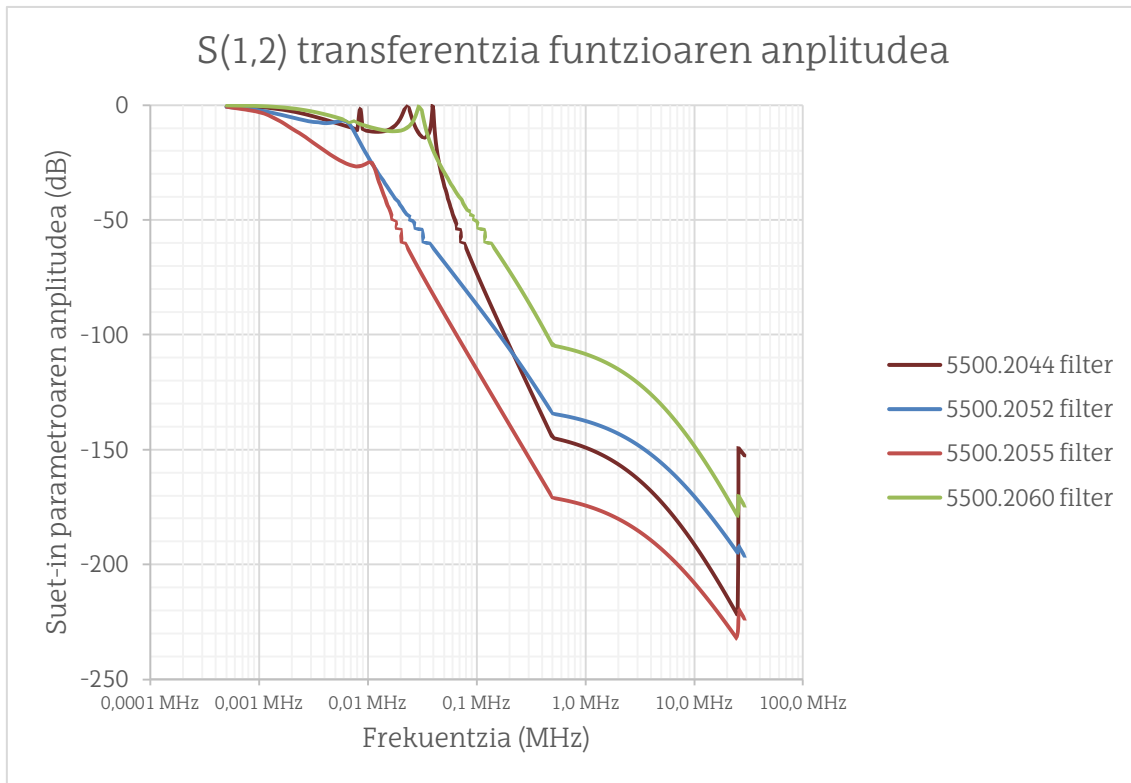
5. EMC iragazki komertzialen karakterizazioa



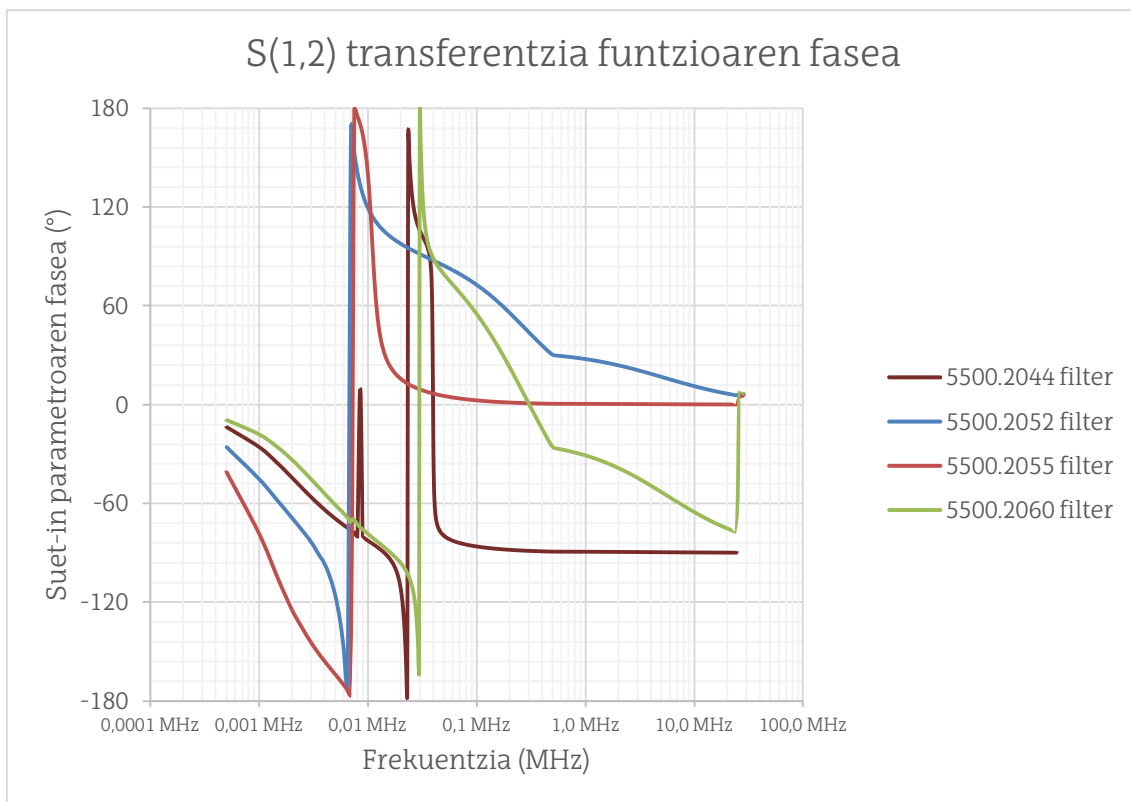
Grafikoa 24: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren modulua (zirkuitu irekian)



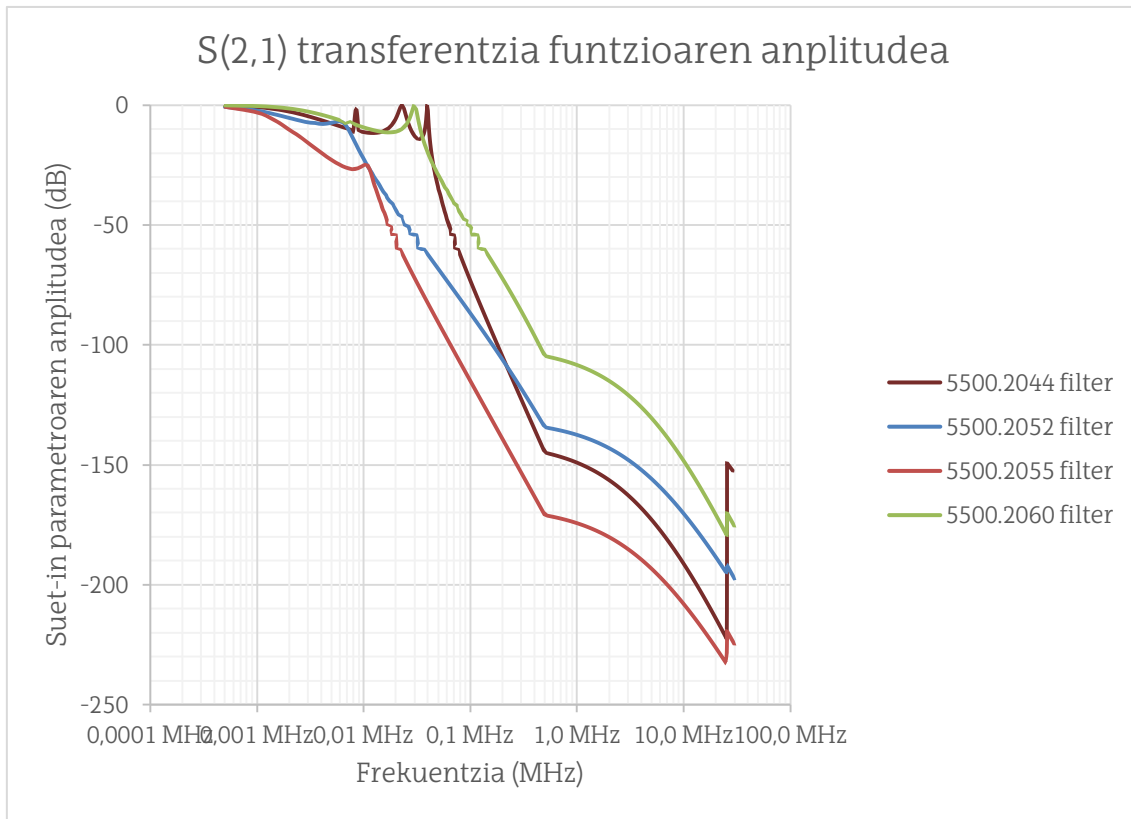
Grafikoa 25: EMC iragazkien sarrera-impedantziaren fasea (zirkuitu irekian)



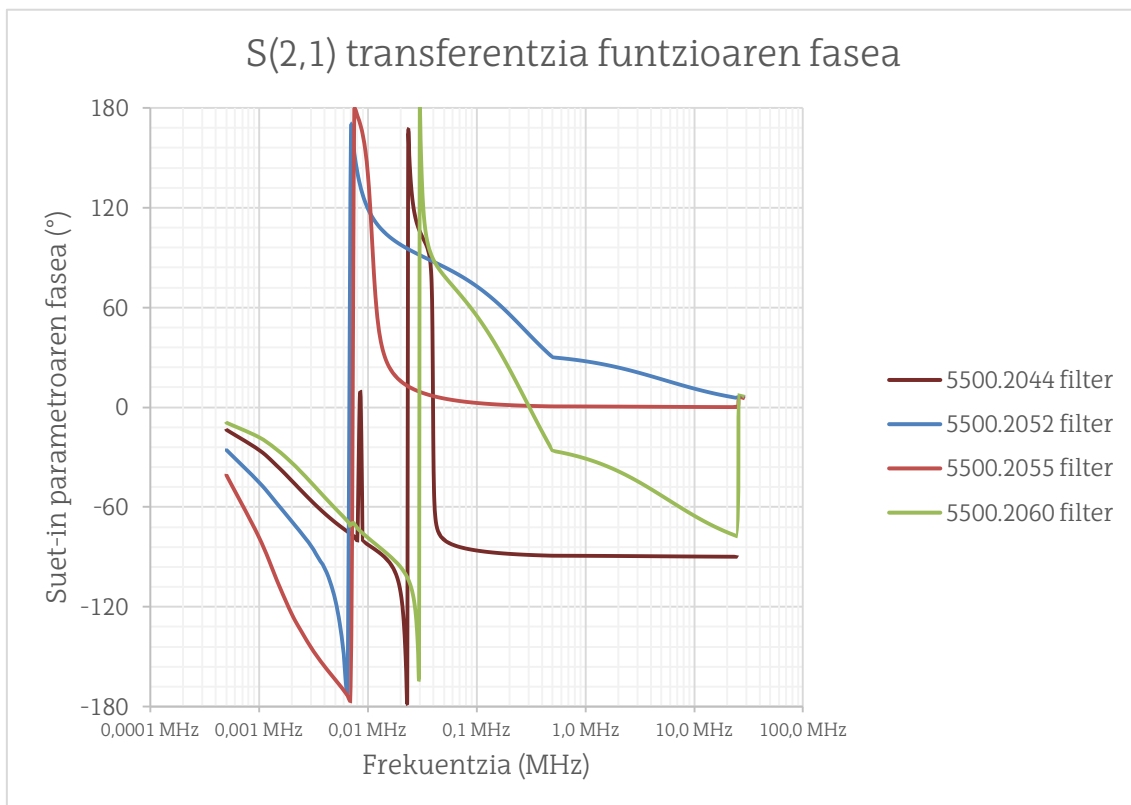
Grafikoa 26: EMC iragazkien S(1,2) transferentzia funtzioen modulua



Grafikoa 27: EMC iragazkien S(1,2) transferentzia funtzioen fasea

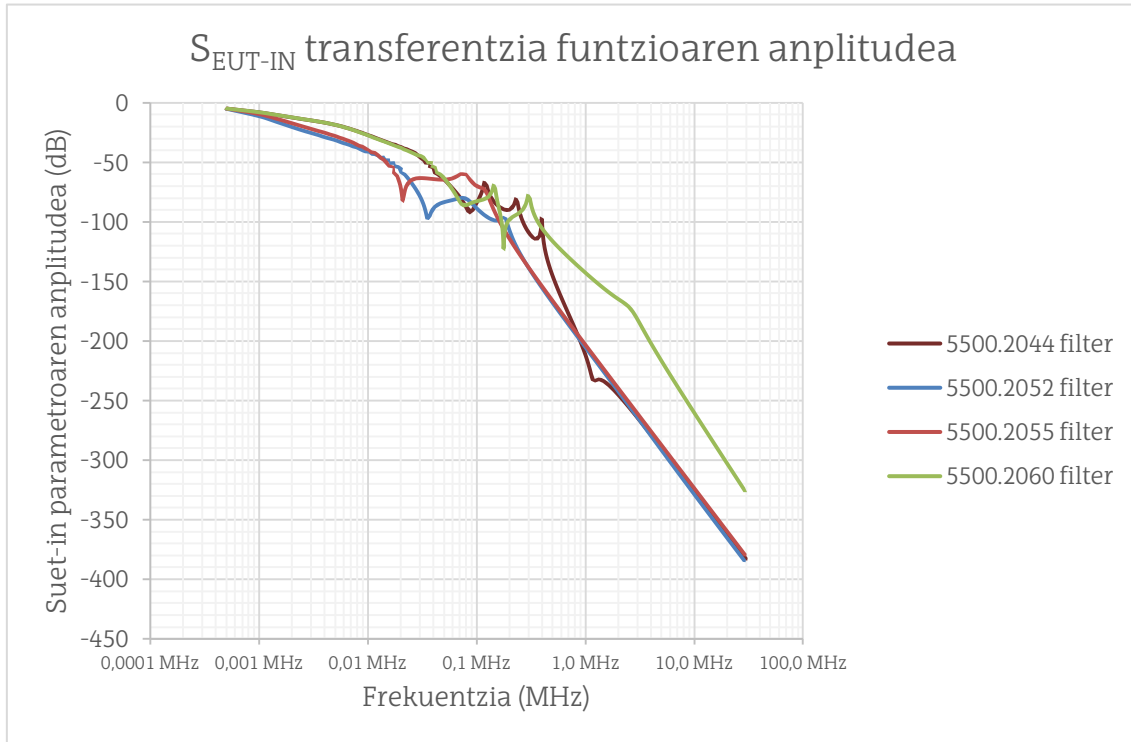


Grafikoa 28: EMC iragazkien S(2,1) transferentzia funtzioen moduluak

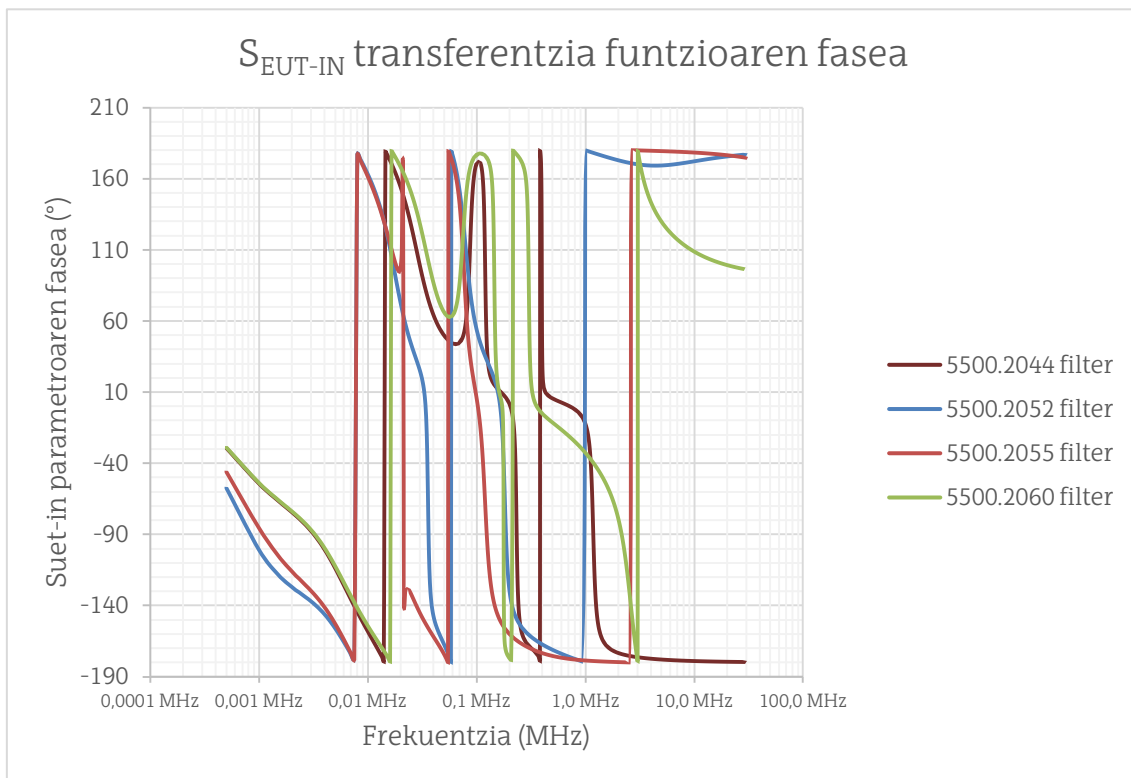


Grafikoa 29: EMC iragazkien S(2,1) transferentzia funtzioen fasea

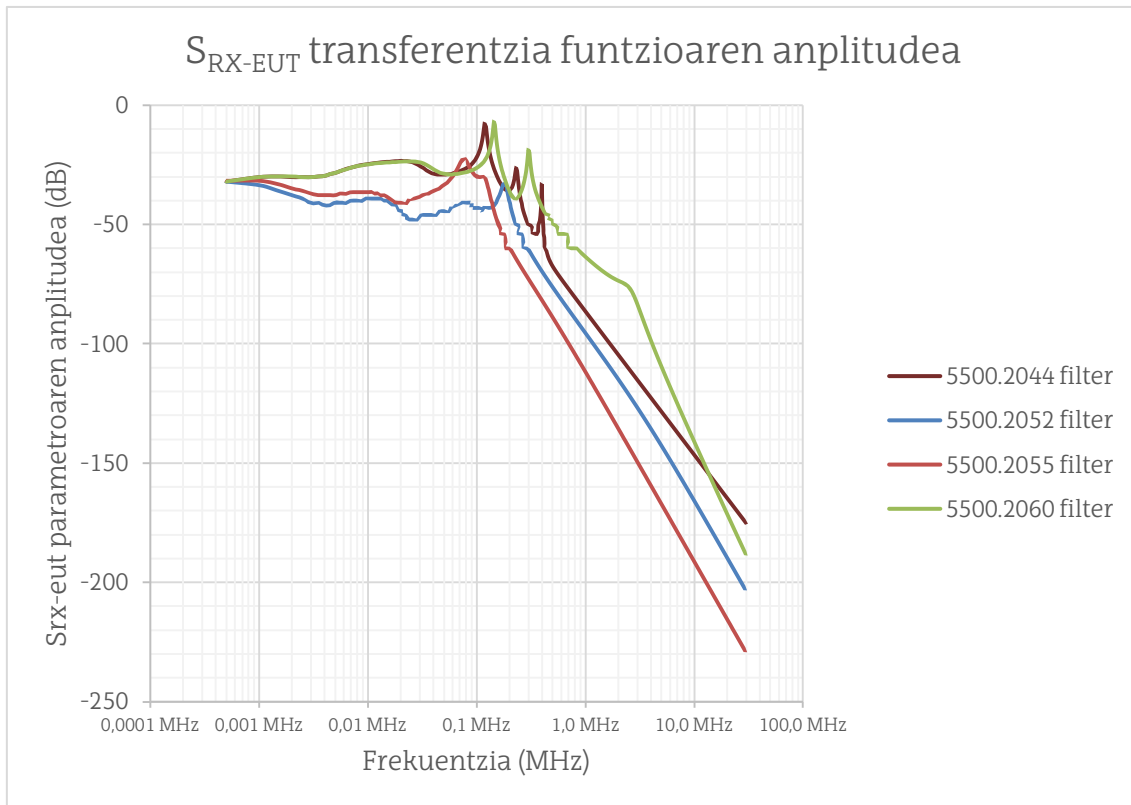
5.1. EMC iragazkiek LISNaren S parametroetan duten eragina



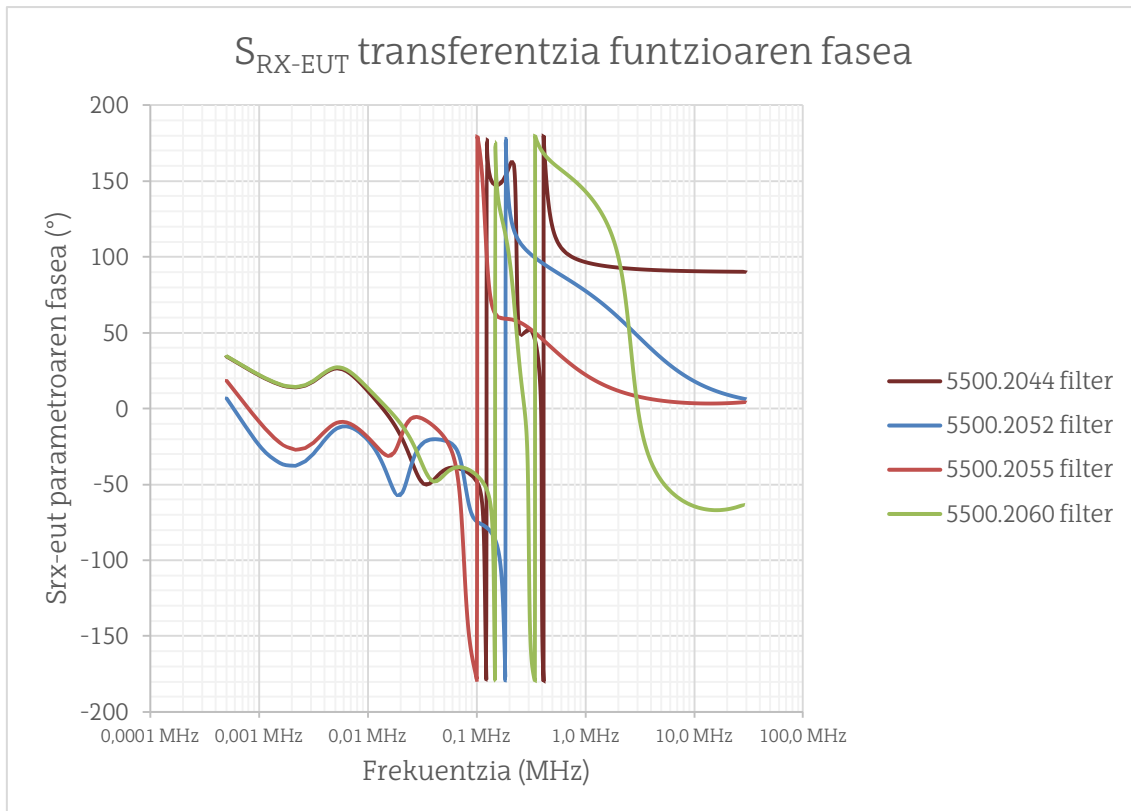
Grafikoa 30: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea



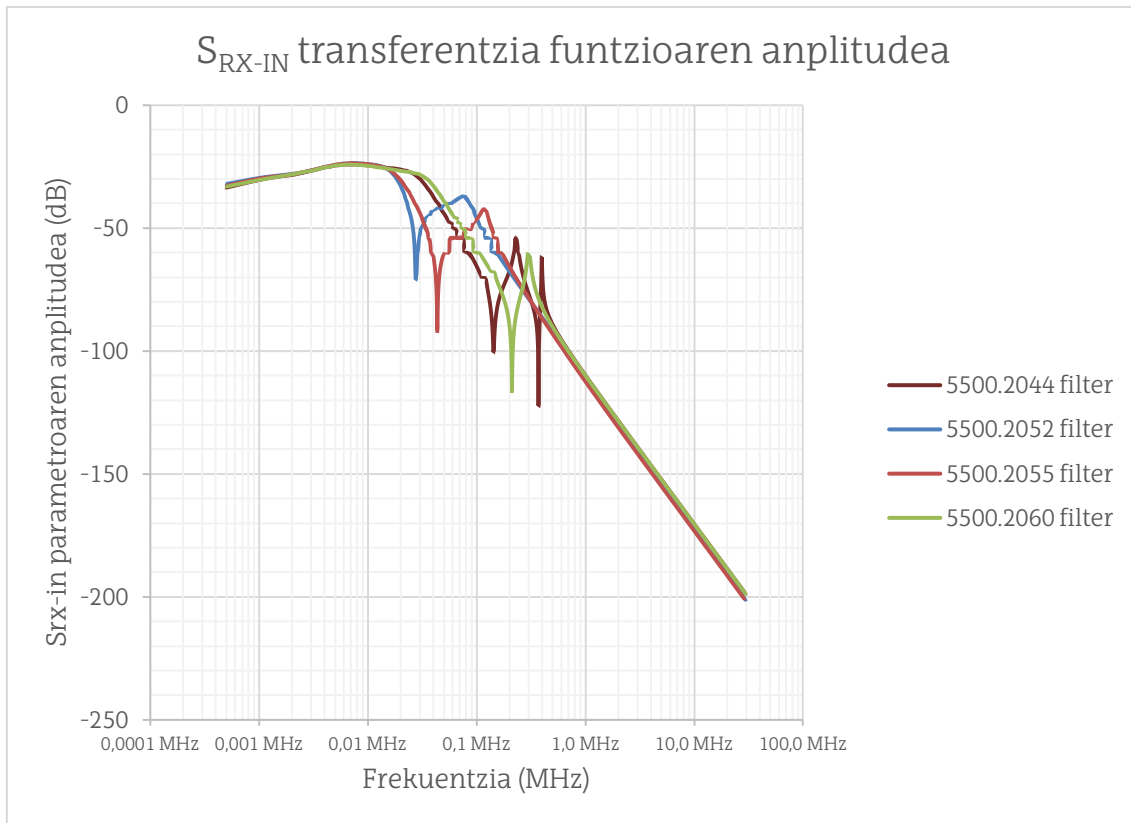
Grafikoa 31: EMC iragazkiekin S_{EUT-IN} transferentzia funtzioaren fasea



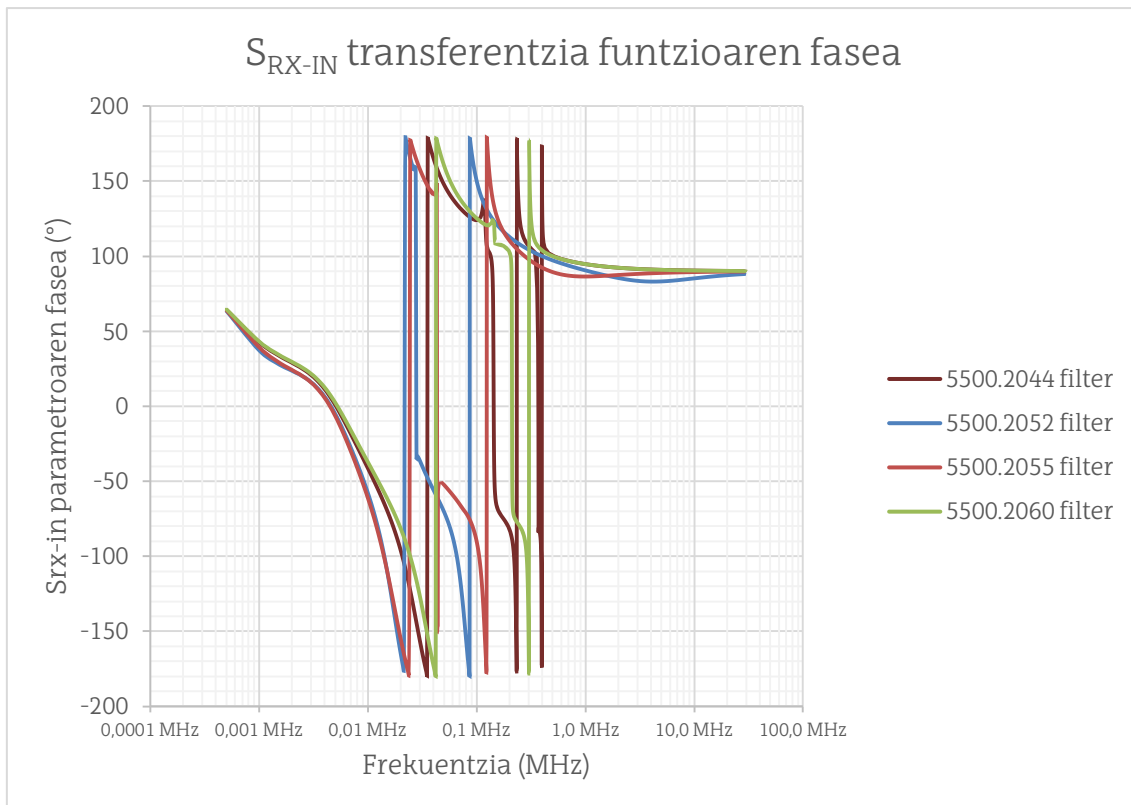
Grafikoa 32: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren anplitudea



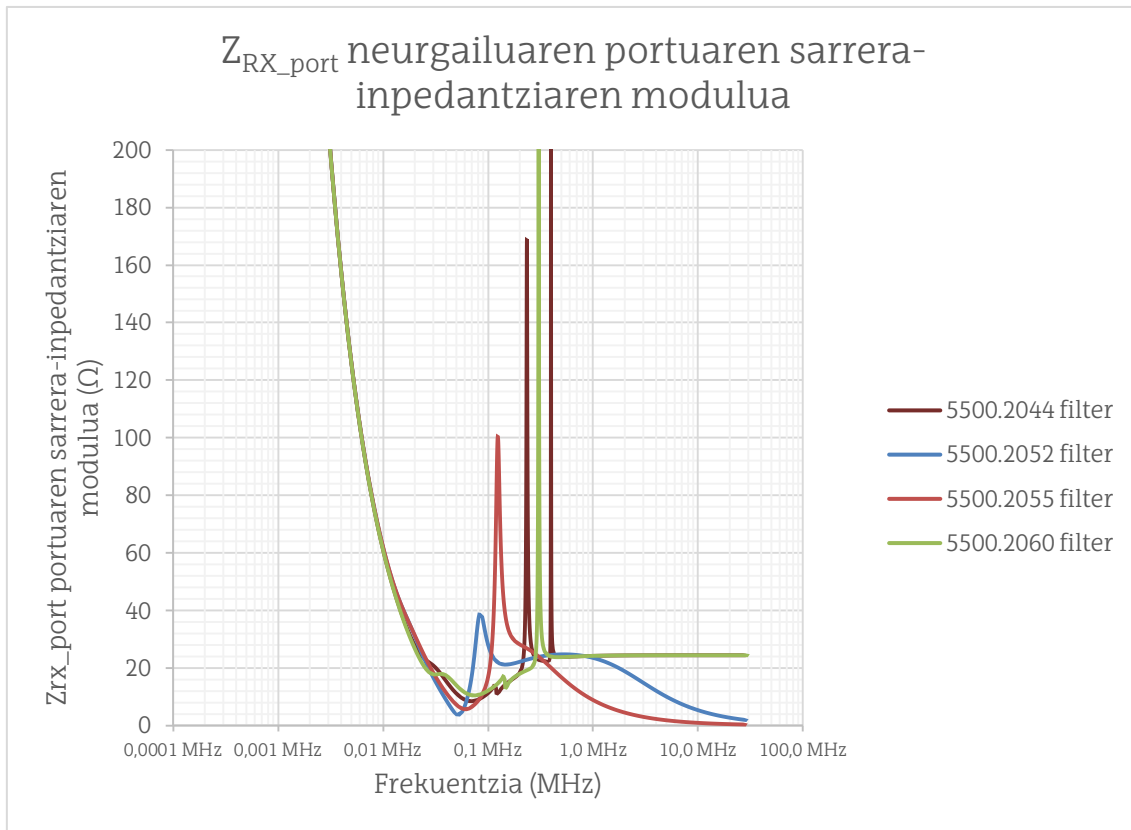
Grafikoa 33: EMC iragazkiekin S_{RX-EUT} transferentzia funtzioaren fasea



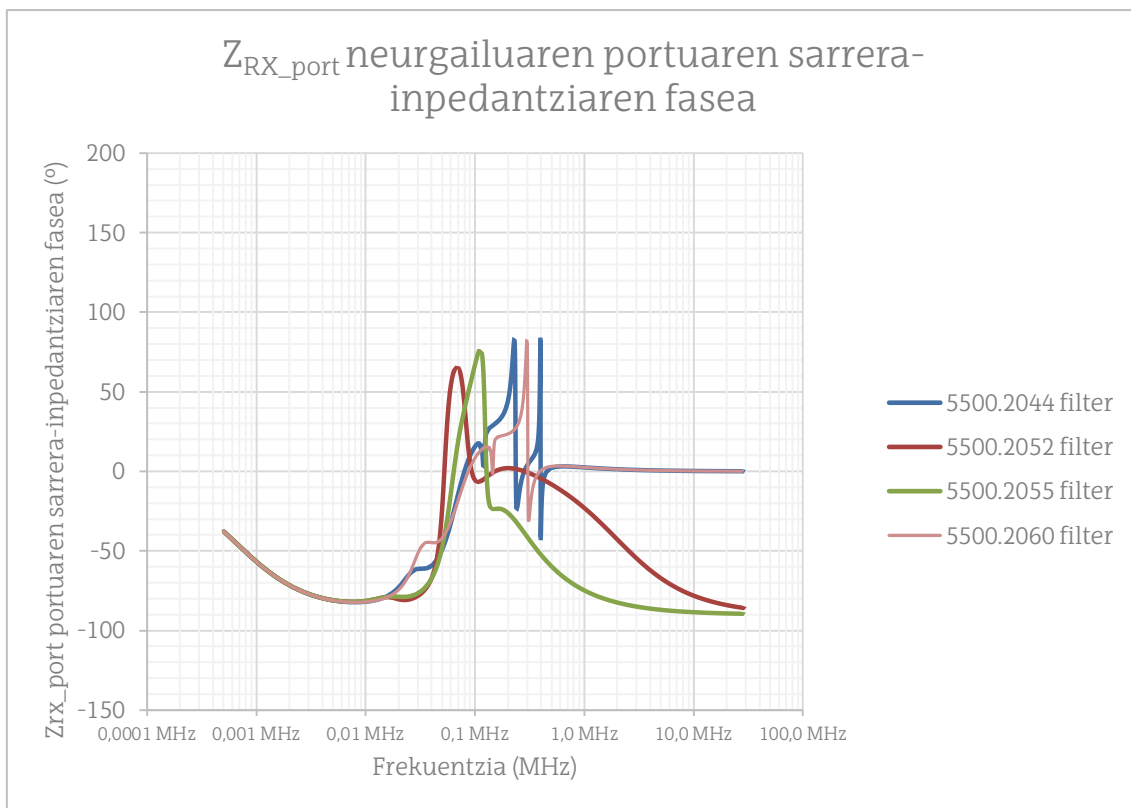
Grafikoa 34: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea



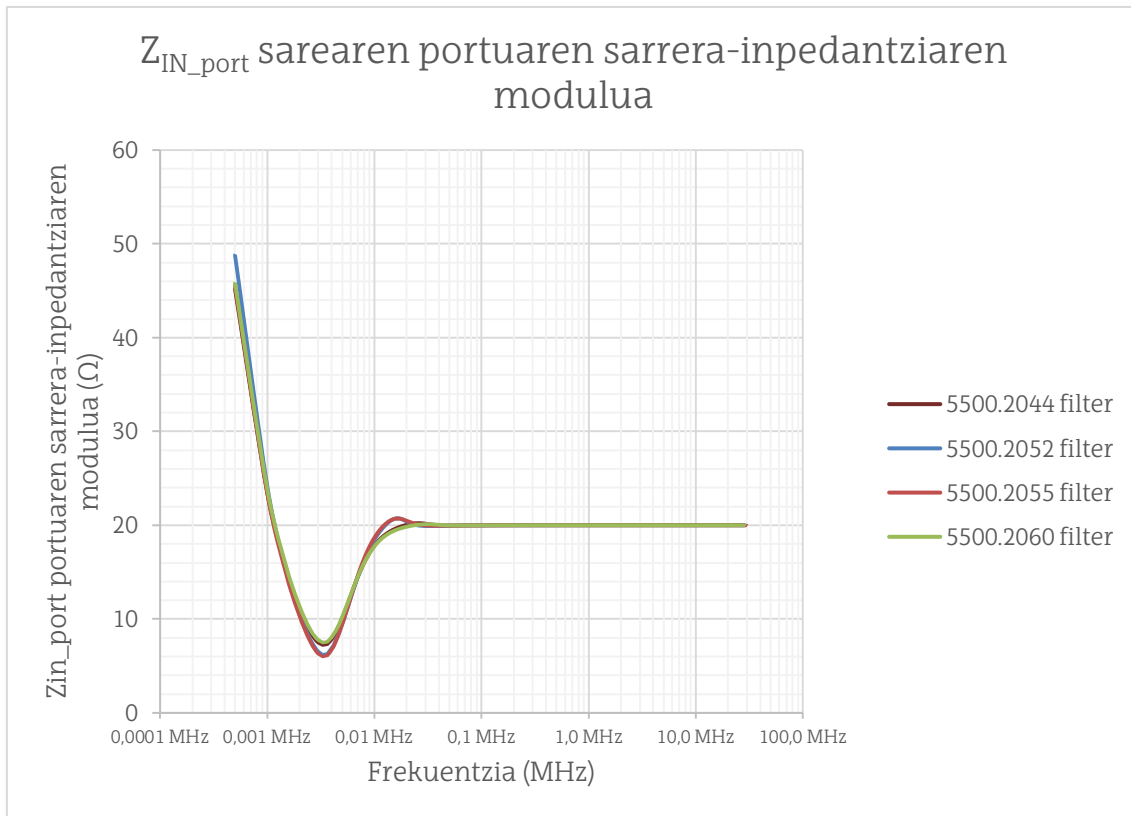
Grafikoa 35: EMC iragazkiekin S_{RX-IN} transferentzia funtzioaren anplitudea



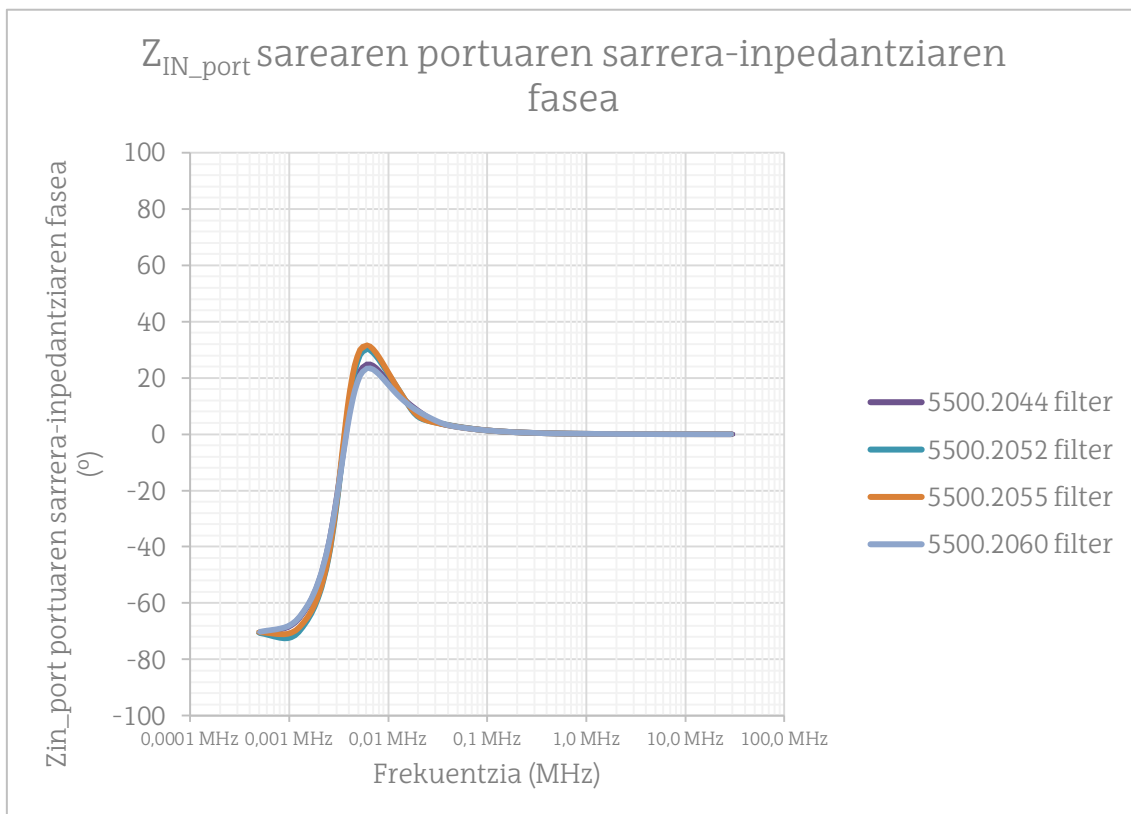
Grafikoa 36: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren modulua



Grafikoa 37: EMC iragazkiekin Z_{RX_port} neurgailuaren portuaren sarrera-impedantziaren fasea

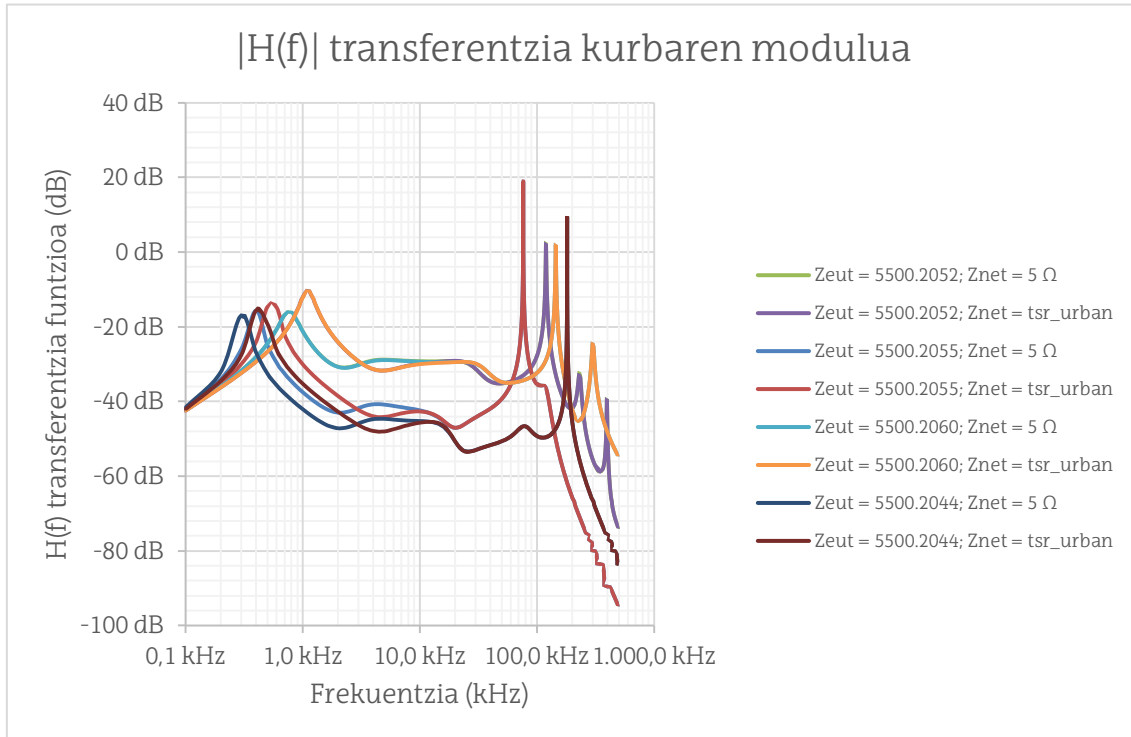


Grafikoa 38: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-impedantziaren modulua

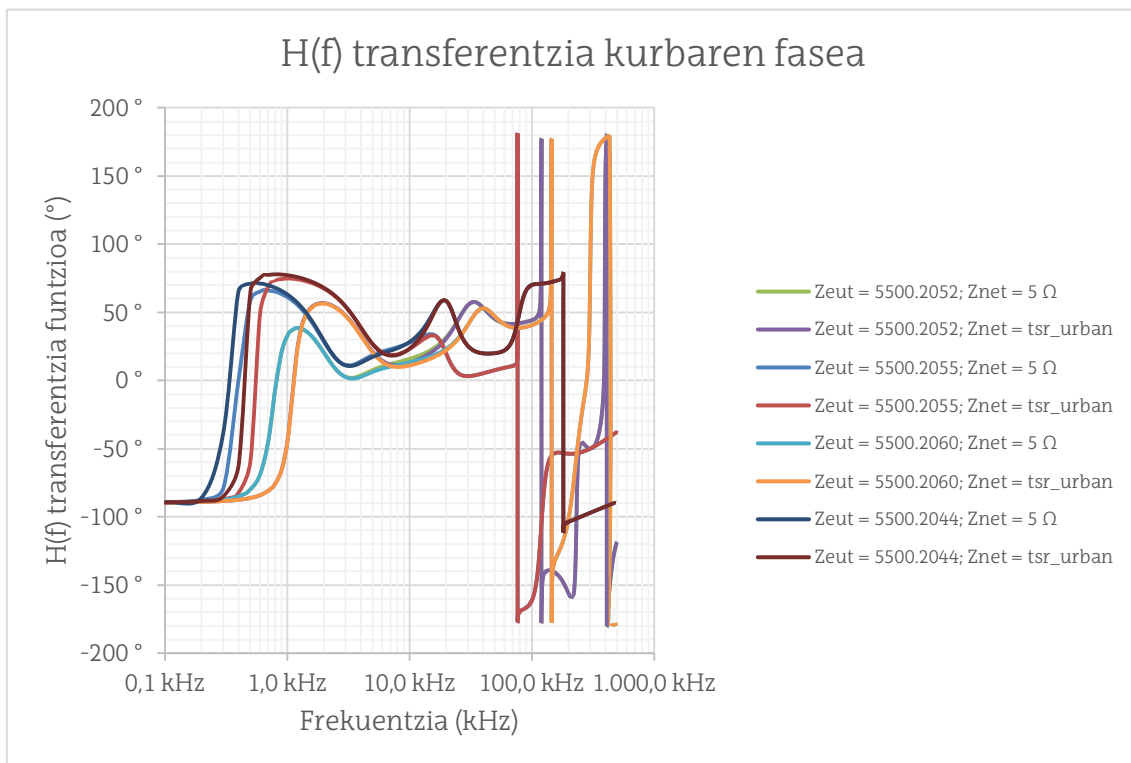


Grafikoa 39: Z_{IN_port} sarearen portuaren sarrera-impedantziaren fasea

5.2. EMC iragazkiek LISNaren emisioen neurketan duten eragina



Grafikoa 40: EMC iragazkiekin $|H(f)|$ transferentzia kurbaren modulua



Grafikoa 41: EMC iragazkiekin $H(f)$ transferentzia kurbaren fasea

II. ERANSKINA: L.I.S.N.AREN SINTESIAREN EMAITZAK

II. ERANSKINAREN AURKIBIDEA

1.	Sarrera.....	123
2.	LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa.....	123
3.	50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze- sarearen funtzionamenduan.....	124
4.	LISN berriaren eskema elektronikoa	125

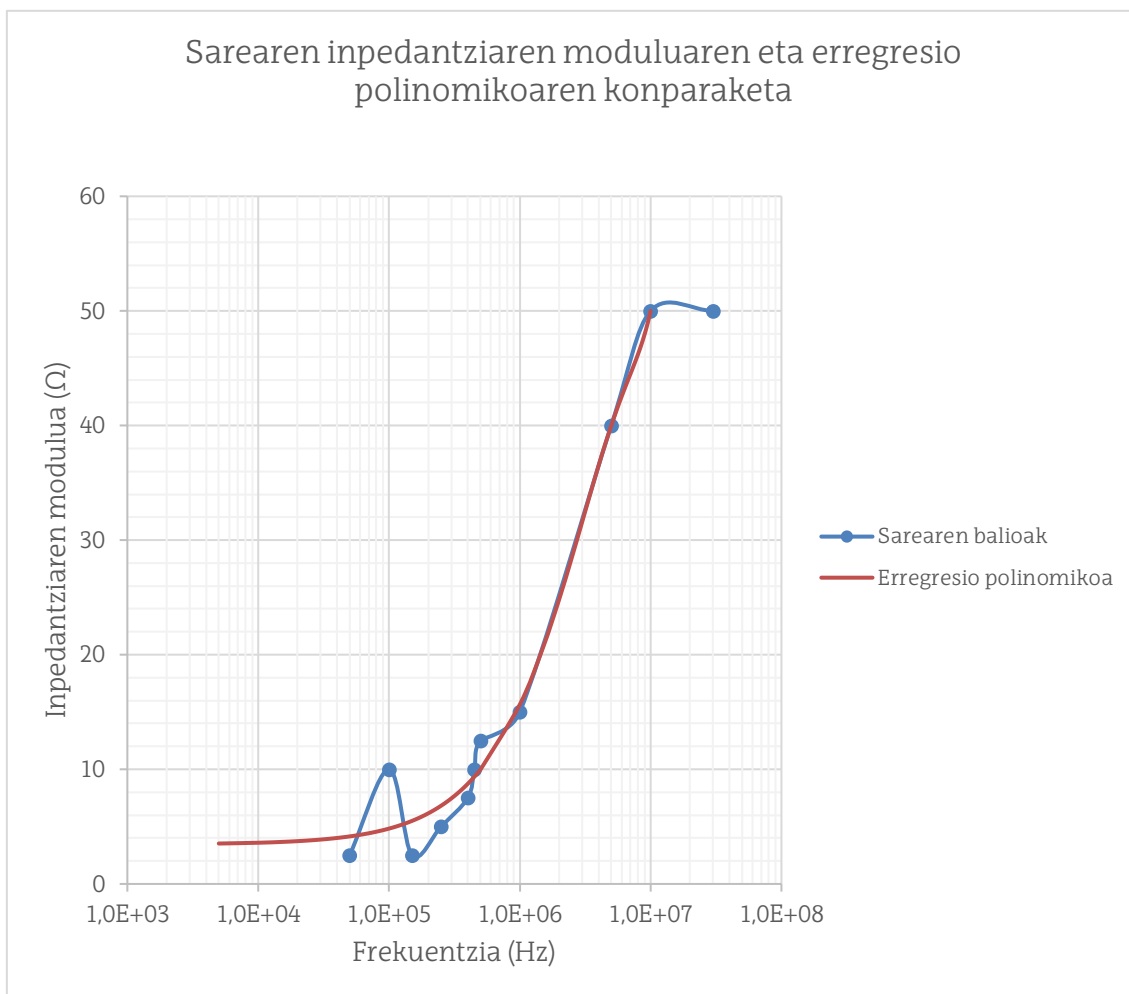
1. Sarrera

Eranskin honen bitartez, GrAL proiektu honetan garatutako LISN berriaren sintesiaren analisiaren ondorioz lortutako emaitzak adieraziko dira.

2. LV sare elektrikoaren inpedantziaren karakterizazioa

Sarearen inpedantziaren moduluaren erregresio polinomikoa:

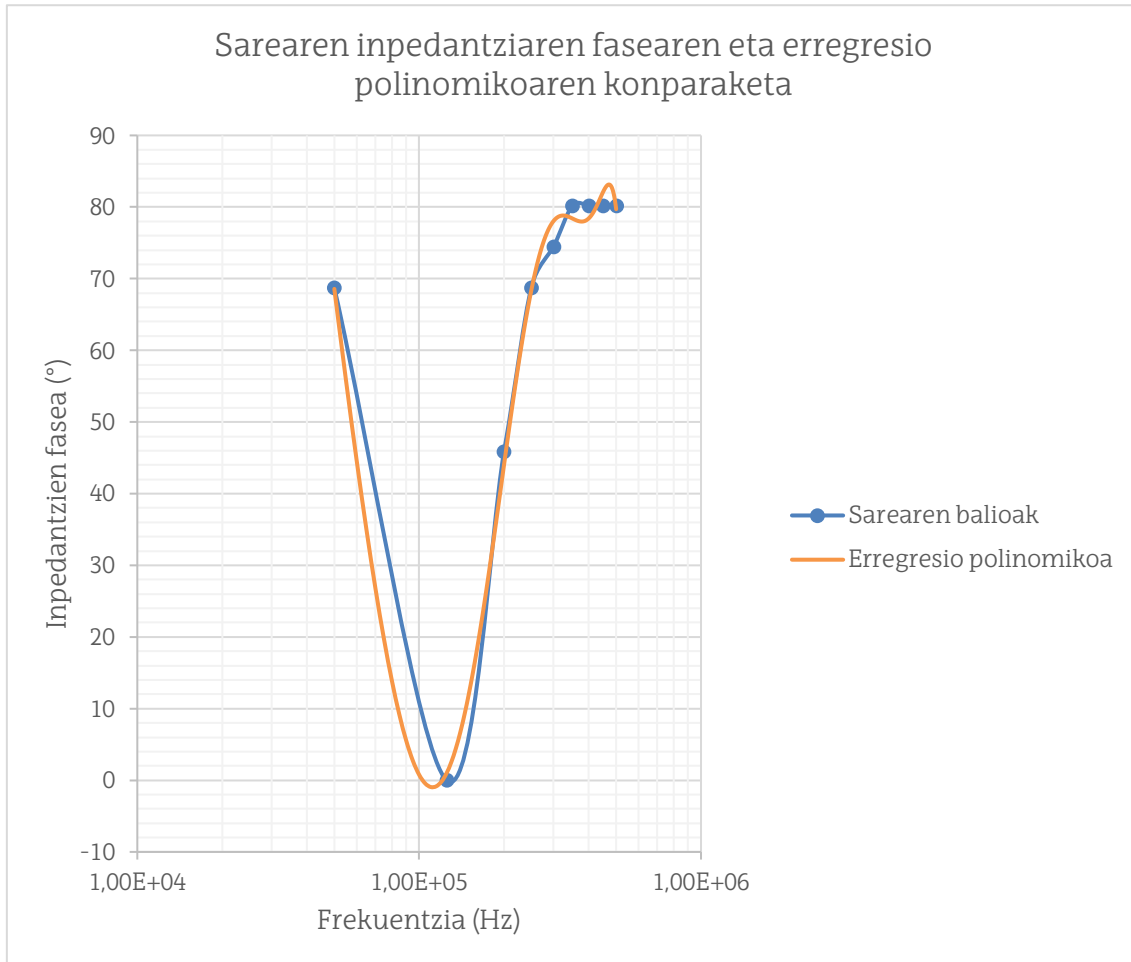
$$|Z_{\text{Sarea}}(f)| = -2,1348\text{E-}27 \cdot f^4 + 1,1106\text{E-}19 \cdot f^3 - 1,8225\text{E-}12 \cdot f^2 + 1,3908\text{E-}05 \cdot f + 3,4567$$



Grafikoa 42: Sarearen inpedantziaren moduluaren eta erregresio polinomikoaren konparaketa

Sarearen inpedantziaren fasearen erregresio polinomikoa:

$$\text{phase}(Z_{\text{Sarea}}(f)) = -2,338\text{E}-25 \cdot f^5 + 3,754\text{E}-19 \cdot f^4 - 2,275\text{E}-13 \cdot f^3 + 6,323\text{E}-08 \cdot f^2 - 7,518\text{E}-03 \cdot f + 3,125\text{E}+022$$

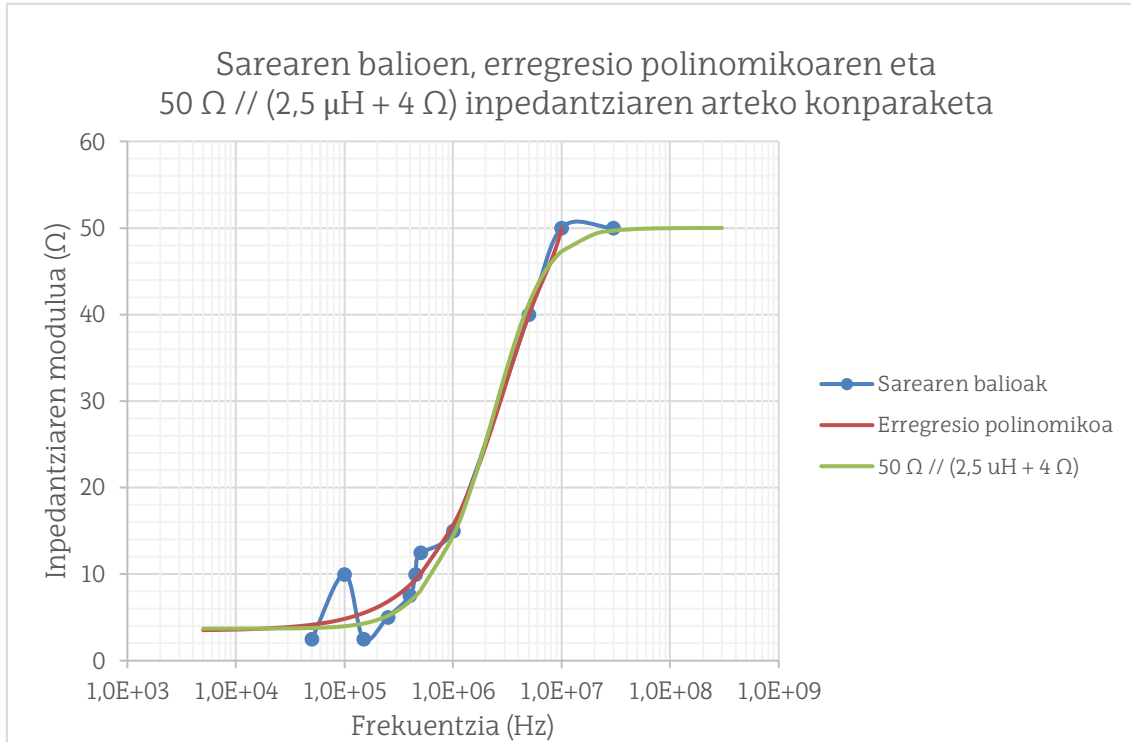


Grafikoa 43: Sarearen inpedantziaren fasearen eta erregresio polinomikoaren konparaketa

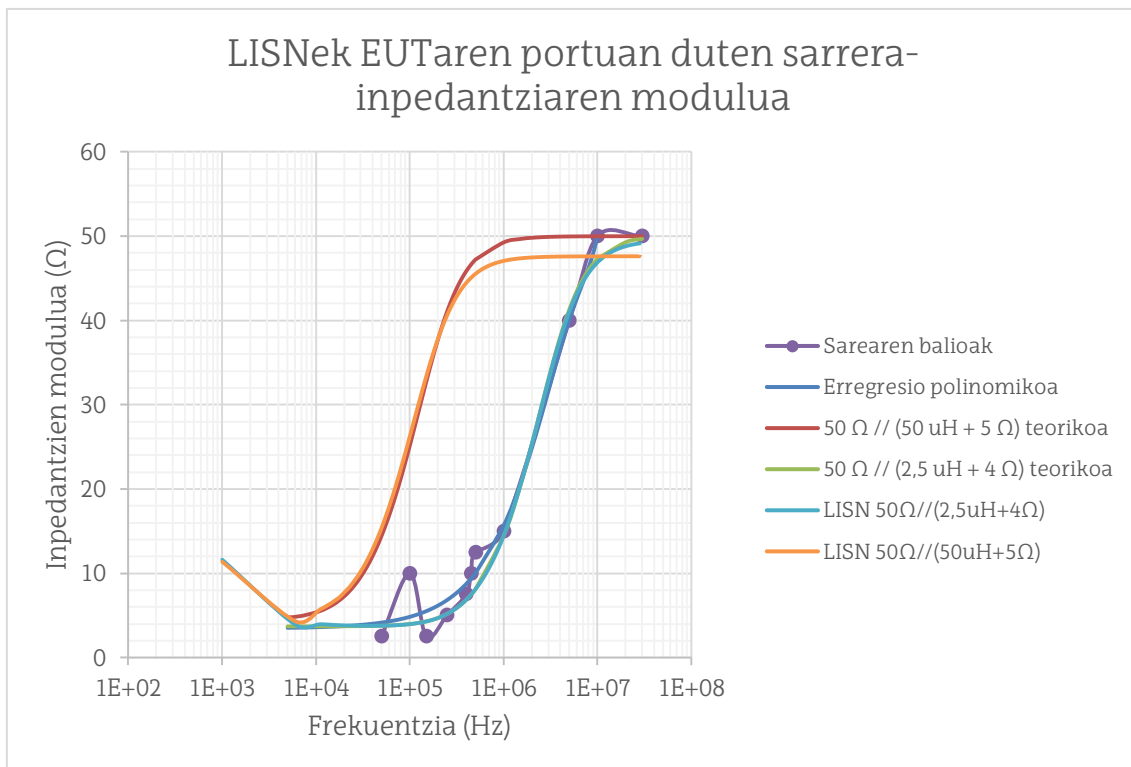
3. 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren osagaien eragina egonkortze-sarearen funtzionamenduan

Atal honen inguruko azalpen guztiak "7. Proposatutako irtenbidearen deskribapena" atalaren "7.2.2" puntuan eman dira. Izan ere, atal horretan 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) motako LISNak dituen osagaiak egonkortze-sarearen funtzionamenduan duten eragina azaltzen da.

4. LISN berriaren eskema elektronikoa

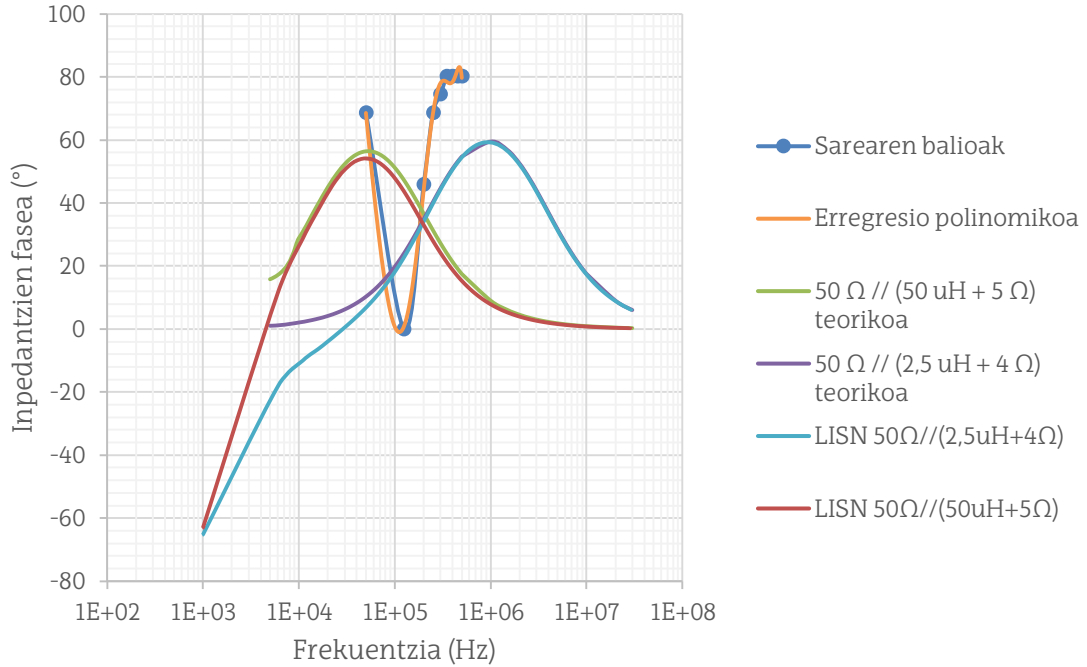


Grafikoa 44: Sarearen balioen, erregresio polinomikoaren eta $50 \Omega // (2,5 \mu\text{H} + 4 \Omega)$ inpedantziaren arteko konparaketa



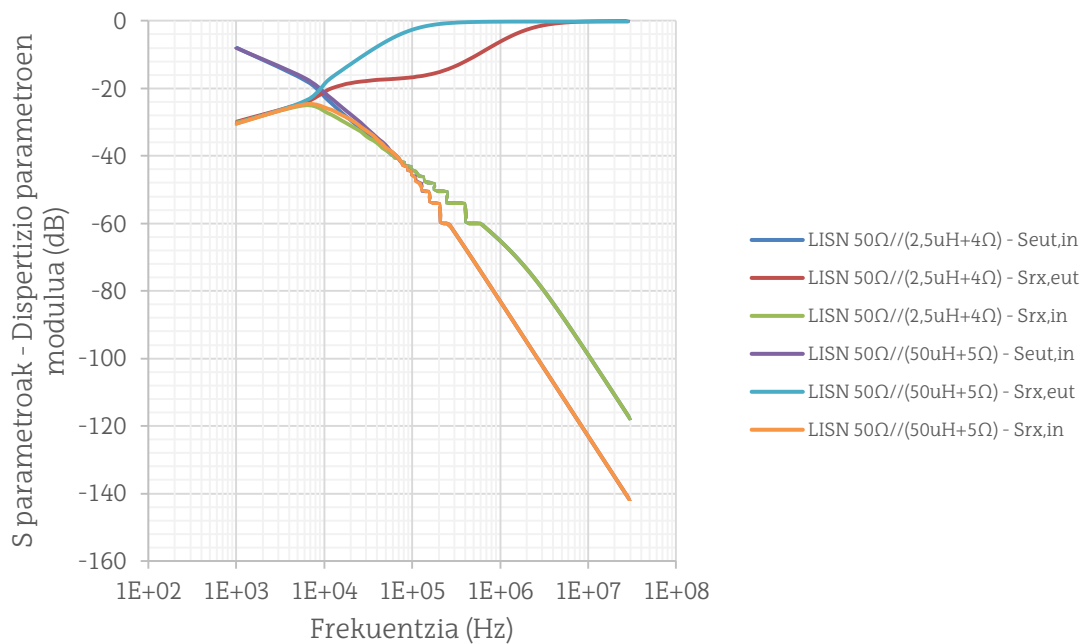
Grafikoa 45: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-inpedantziaren modulua

LISNek EUTaren portuan duten sarrera-impedantziaren fasea

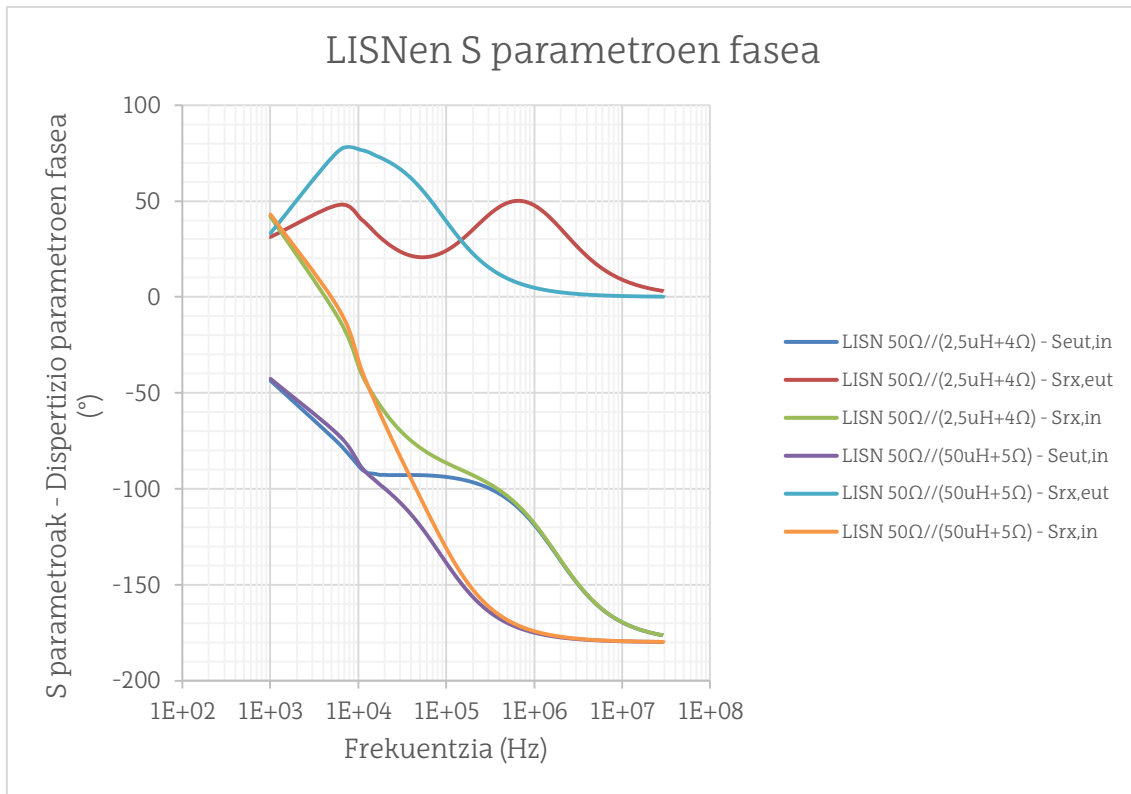


Grafikoa 46: LISNek EUTaren portuan duten sarrera-impedantziaren fasea

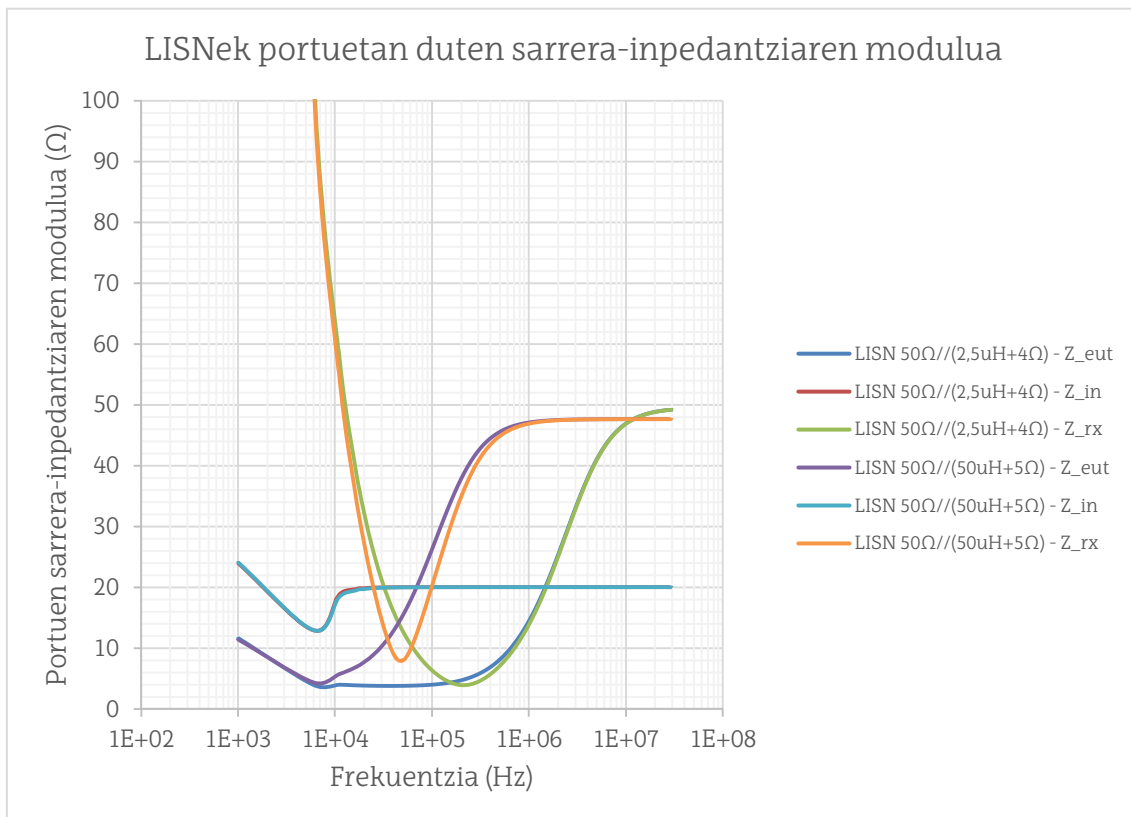
LISNen S parametroen modulua



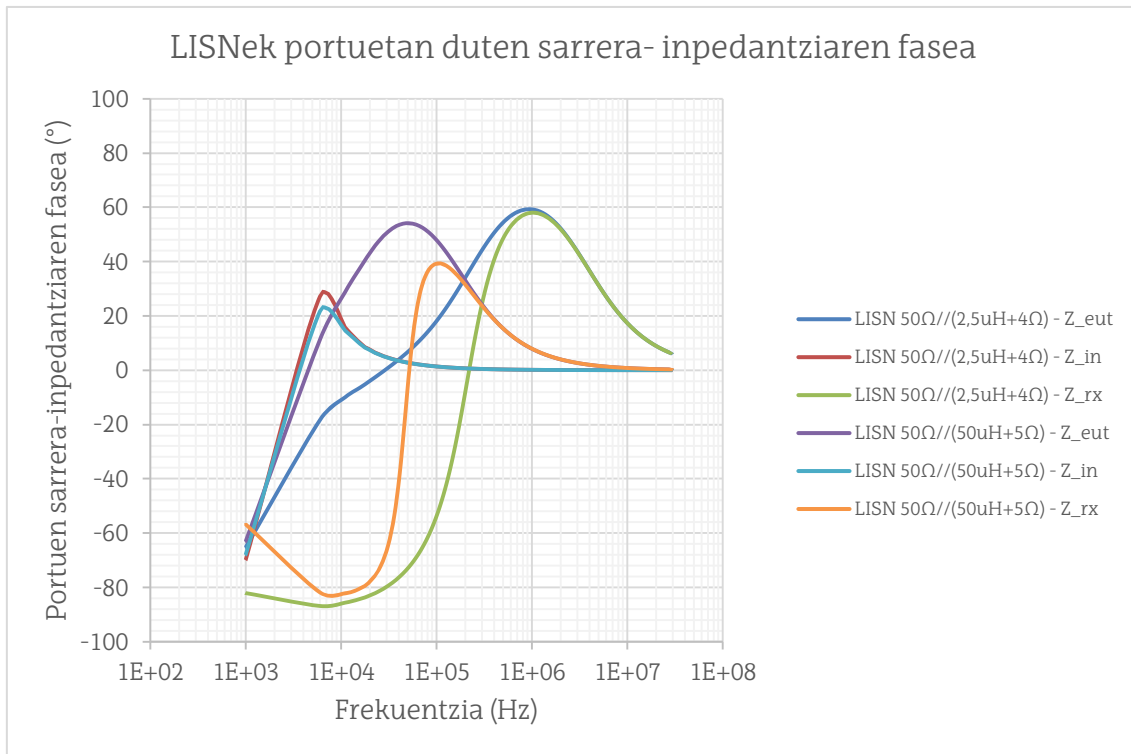
Grafikoa 47: LISNen S parametroen modulua



Grafikoa 48: LISNen S parametroen fasea



Grafikoa 49: LISNek portuetan duten sarrera-impedantziaren modulua



Grafikoa 50: LISNek portuetan duten sarrera-inpedantziaren fasea

III. ERANSKINA: L.I.S.N.EN ZIURGABETASUN KONTRIBUZIOAREN EUSKARRI DIGITALEN EMAITZAK

III. ERANSKINAREN AURKIBIDEA

1. Sarrera 133
2. LISN mota baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak 133
3. LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulua . 138

1. Sarrera

Eranskin honen bitartez, GrAL proiektu honetan garatutako LISNen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko sortu diren baliabide digitalekin lortutako emaitzak adieraziko dira.

2. LISN mota baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkuluak

Frek. (MHz)	R&S balioak [23]		Excel bidezko kalkuluak	
	Max (dB)	Min (dB)	Max (dB)	Min (dB)
0,15	2,68	-2,60	2,6751	-2,5978
0,16	2,56	-2,53	2,5565	-2,5317
0,17	2,46	-2,47	2,4564	-2,4747
0,18	2,37	-2,43	2,3708	-2,4253
0,19	2,30	-2,38	2,2971	-2,3823
0,20	2,23	-2,34	2,2332	-2,3445
0,25	2,01	-2,21	2,0132	-2,2114
0,30	1,89	-2,13	1,8880	-2,1335
0,50	1,70	-2,01	1,6969	-2,0118
1,00	1,61	-1,96	1,6124	-1,9570
5,00	1,58	-1,94	1,5847	-1,9389
10,0	1,58	-1,94	1,5839	-1,9383
30,0	1,58	-1,94	1,5837	-1,9382

Taula 24: 50 Ω/50μH LISN motaren ziurgabetasun kontribuzioa maximoaren kalkuluak eta R&S-en balioen konparaketa [23]

Frek. (MHz)	50 Ω/(50 μH + 5 Ω)	
	Max (dB)	Min (dB)
0,009	1,8550	-2,1128
0,015	2,2287	-2,3417
0,030	3,1333	-2,8417
0,060	3,5715	-3,0581
0,100	3,0295	-2,7881
0,150	2,4696	-2,4823
0,160	2,3916	-2,4374
0,170	2,3225	-2,3972
0,180	2,2610	-2,3611
0,190	2,2063	-2,3286
0,200	2,1577	-2,2993
0,250	1,9794	-2,1905
0,300	1,8708	-2,1228
0,500	1,6945	-2,0103
1,000	1,6122	-1,9569
5,000	1,5847	-1,9389
10,00	1,5839	-1,9383
30,00	1,5837	-1,9382

Taula 25: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza

Frek. (MHz)	50 Ω/(50 μH + 5 Ω)	
	Max (dB)	Min (dB)
0,009	0,9435	-1,0085
0,015	1,1010	-1,1323
0,030	1,4692	-1,4074
0,060	1,6410	-1,5289
0,100	1,4284	-1,3776
0,150	1,2010	-1,2090
0,160	1,1688	-1,1844
0,170	1,1400	-1,1624
0,180	1,1145	-1,1427
0,190	1,0916	-1,1250
0,200	1,0712	-1,1092
0,250	0,9962	-1,0504
0,300	0,9502	-1,0138
0,500	0,8752	-0,9536
1,000	0,8401	-0,9251
5,000	0,8283	-0,9155
10,00	0,8280	-0,9152
30,00	0,8279	-0,9151

Taula 26: 50 Ω/(50μH + 5Ω) LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza, tolerantzia %10 dela

Frek. (MHz)	50 Ω/(50 μH + 5 Ω)	
	Max (dB)	Min (dB)
0,009	2,7793	-3,3481
0,015	3,4687	-3,6734
0,030	5,2137	-4,3727
0,060	6,1155	-4,6720
0,100	5,0059	-4,2987
0,150	3,9208	-3,8714
0,160	3,7735	-3,8083
0,170	3,6437	-3,7516
0,180	3,5289	-3,7006
0,190	3,4270	-3,6546
0,200	3,3366	-3,6131
0,250	3,0076	-3,4589
0,300	2,8082	-3,3624
0,500	2,4843	-3,2015
1,000	2,3322	-3,1249
5,000	2,2810	-3,0990
10,00	2,2794	-3,0983
30,00	2,2789	-3,0980

Taula 27: 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza, tolerantzia %30 dela

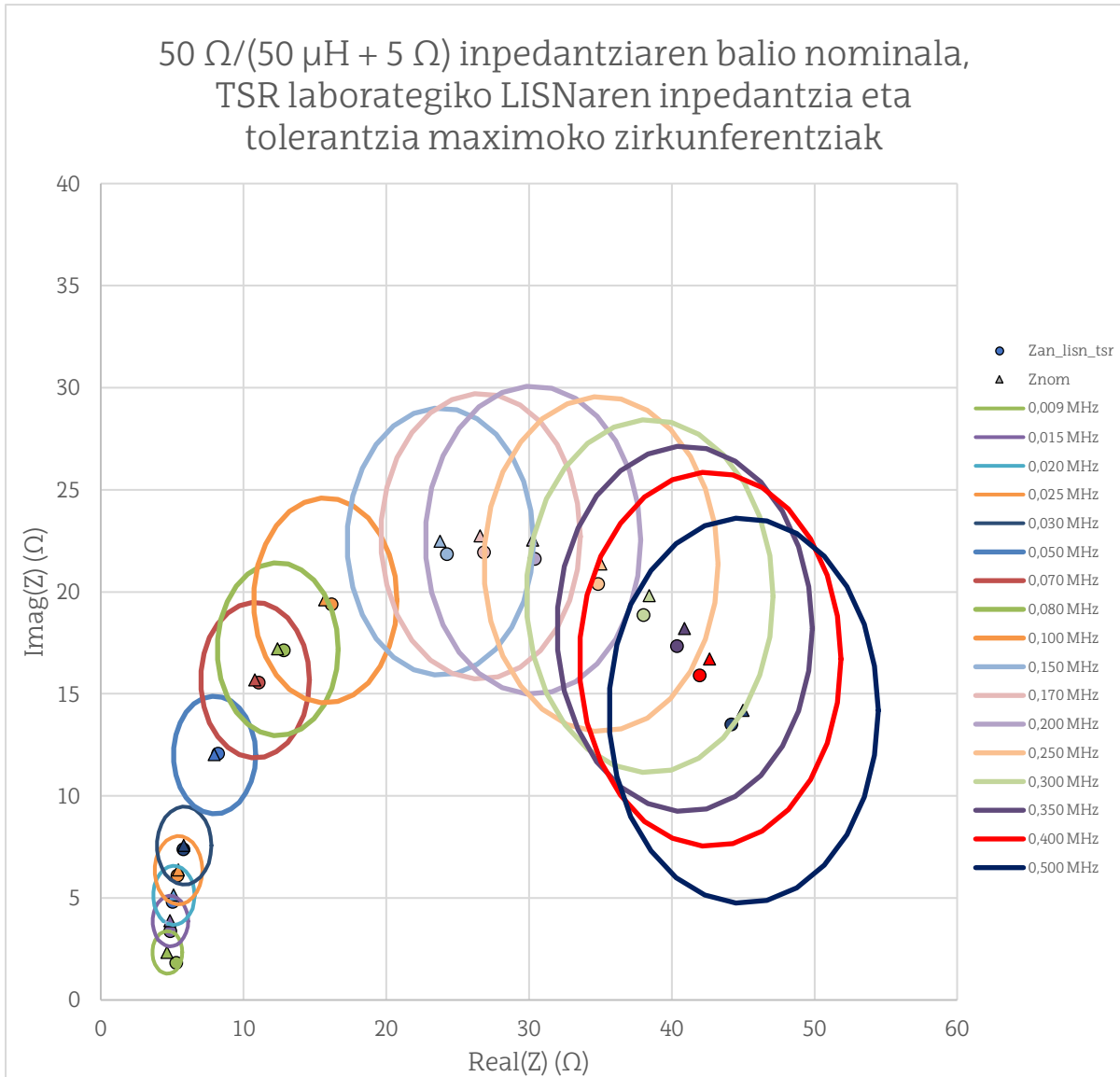
Frek. (MHz)	50 Ω /(50 μ H + 5 Ω)	
	Max (dB)	Min (dB)
0,009	4,9954	-6,4216
0,015	6,9445	-6,9365
0,030	13,2759	-8,0198
0,060	18,5259	-8,4735
0,100	12,3383	-7,9057
0,150	8,3381	-7,2459
0,160	7,8719	-7,1478
0,170	7,4729	-7,0589
0,180	7,1268	-6,9789
0,190	6,8253	-6,9068
0,200	6,5617	-6,8417
0,250	5,6281	-6,5973
0,300	5,0753	-6,4440
0,500	4,1720	-6,1873
1,000	3,7121	-6,0639
5,000	3,5305	-6,0223
10,00	3,5240	-6,0210
30,00	3,5220	-6,0204

Taula 28: 50 Ω /(50 μ H + 5 Ω) LISN motaren ziurgabetasun kontribuzio maximoaren kalkuluen emaitza, tolerantzia %50 dela

3. LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulua

Freq (MHz)	Zan ()	fasea(Zan) (°)	MAXIMUN DEVIATION	Phase of EUT reflection coeff.
0,009 MHz	5,60 Ω	19,01 °	0,7742 dB	153 °
0,015 MHz	5,94 Ω	34,72 °	-0,8393 dB	199 °
0,020 MHz	6,95 Ω	43,69 °	-0,5722 dB	207 °
0,025 MHz	8,13 Ω	48,50 °	-0,4330 dB	209 °
0,030 MHz	9,37 Ω	51,88 °	-0,2830 dB	214 °
0,050 MHz	14,59 Ω	55,89 °	-0,1236 dB	204 °
0,070 MHz	19,10 Ω	54,53 °	-0,1966 dB	219 °
0,080 MHz	21,39 Ω	53,17 °	-0,2118 dB	220 °
0,100 MHz	25,25 Ω	50,12 °	-0,2152 dB	229 °
0,150 MHz	32,62 Ω	42,01 °	-0,2461 dB	249 °
0,170 MHz	34,68 Ω	39,24 °	-0,2506 dB	259 °
0,200 MHz	37,30 Ω	35,42 °	-0,2500 dB	268 °
0,250 MHz	40,36 Ω	30,35 °	-0,2410 dB	284 °
0,300 MHz	42,45 Ω	26,38 °	-0,2287 dB	294 °
0,350 MHz	43,95 Ω	23,22 °	-0,2114 dB	301 °
0,400 MHz	44,87 Ω	20,74 °	-0,2227 dB	311 °
0,500 MHz	46,19 Ω	17,01 °	-0,2126 dB	321 °
0,700 MHz	47,50 Ω	12,53 °	-0,1915 dB	336 °
0,900 MHz	48,06 Ω	9,91 °	-0,1865 dB	344 °
1,000 MHz	48,23 Ω	8,98 °	-0,1847 dB	348 °
1,500 MHz	48,66 Ω	6,23 °	-0,1776 dB	6 °
2,000 MHz	48,83 Ω	4,86 °	-0,1743 dB	9 °
2,500 MHz	48,91 Ω	4,07 °	-0,1744 dB	16 °
3,000 MHz	48,97 Ω	3,56 °	-0,1730 dB	21 °
4,000 MHz	49,04 Ω	3,00 °	-0,1746 dB	30 °
5,000 MHz	49,08 Ω	2,72 °	-0,1789 dB	39 °
7,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,1913 dB	49 °
10,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,2160 dB	56 °
15,000 MHz	49,09 Ω	3,00 °	-0,2718 dB	65 °
20,000 MHz	48,88 Ω	3,24 °	-0,3243 dB	64 °
30,000 MHz	47,72 Ω	4,14 °	-0,5461 dB	55 °

Taula 29: TSR iherketa taldearen R&S@ENV216 Two-Line V-Network LISNaren ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulua



Grafikoa 51: 50 Ω / (50 μ H + 5 Ω) inpedantziaren balio nominala, TSR laborategiko LISNaren inpedantzia eta tolerantzia maximoko zirkunferentzien (Tolerance Circle) diagrama

IV. ERANSKINA: ERABILTZAILE GIDA

IV. ERANSKINAREN AURKIBIDEA

1.	Sarrera	145
2.	ADS-n inplementatutako zirkuitua	145
2.1.	50 Ω / (50 μ H + 5 Ω) LISNa	145
2.2.	SCHURTER EMC iragazkiak	147
2.2.1.	SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkia	147
2.2.2.	SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkia	148
2.2.3.	SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkia	149
2.2.4.	SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkia	149
3.	ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko baliabideak	150
3.1.	Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplea.....	150
3.2.	LISN motaren neurketen ziurgabetasun kontribuzio maximoa kalkulatzen duen euskarri digitala	152
3.3.	LISN konkretu baten neurketen ziurgabetasun kontribuzio kalkulatzen duen euskarri digitala	153

1. Sarrera

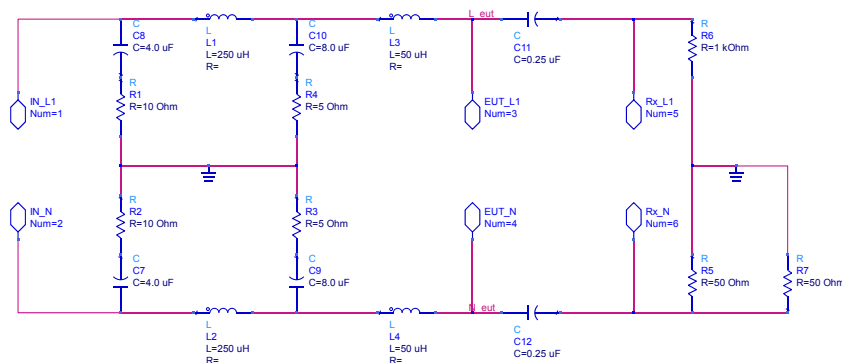
GrAL-aren bigarren eranskin honetan, TSR ikerketa taldean utziko diren euskarri digitalen erabiltzaile gida dago. Proiektu osoan zehar erabilitako simulazio eta kalkulu baliabideak nola erabiltzen diren azalduko da, ikerketa lan honekin jarraitzen duen ikertzaileak euskarri digital hauek nola erabiltzen diren uler dezan. Erabiltzaile gida hau bi atal nagusitan banatzen da: alde batetik, ADSn inplementatutako zirkuituen erabilpena, eta bestetik, LISNen neurketen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko baliabideen azalpena.

2. ADS-n inplementatutako zirkuitua

Txostenean zehar azaldu den moduan, GrAL hau jorrazteko hainbat zirkuitu ADS simulazio programan inplementatu egin dira, zirkuitu hauen funtzionamendua karakterizatu ahal izateko. ADSn jasotako zirkuituen artean honako hauek daude: CISPR 16-1-2 arau teknikoak xedatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNa eta SCHURTER fabrikatzailearen 5500.2044, 5500.2052, 5500.2055 eta 5500.2060 zenbakidun EMC iragazkiak. Zirkuitua hauek, eta hauekin eskema elektronikoarekin sortutako konponenteak, ADSn nola erabiltzen diren azalduko da:

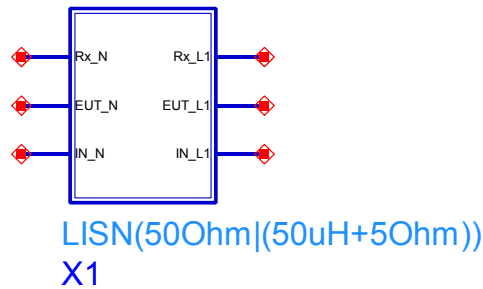
2.1. $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNa

Atal hau jorrazteko, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren zirkuitua berreskuratu egin da:



Irudia 52: ADSn inplementatutako $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNaren zirkuitua

Lan honetan jasotako “7.1.1 LISNaren karakterizazioa” puntuan erabilitako zirkuituari, “Term” osagaiak kendu eta hexagono itxurako etiketak gehitu zaizkio. Elementu berri hauek jartzearen helburua LISNaren zirkuitu osoa konponente batean jasotzea da; “kutxa” itsura duen osagai batean, hexagono formako etiketak konponentearen terminalak izango direlarik. Lortutako konponentea hau da:



Irudia 53: ADSn inplementatutako 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISNaren konponentea

Puntu honetara helduta, terminalak duten izena eta hauei lotutako funtzionamendua azaltzea beharrekoa da: “_L1” atzizkia duten terminaletan, portu horri lotutako linearen puntu elektrikoarekin konektatuta daude. “_N” atzizkia duten terminaletan, ordean, portuen neutroaren puntu elektrikora konektatuta daude.

Terminalaren izena	Azalpena
IN_L1	Sare elektrikoaren portuaren linearen terminala
IN_N	Sare elektrikoaren portuaren neutroaren terminala
EUT_L1	EUTaren portuaren linearen terminala
EUT_N	EUTaren portuaren neutroaren terminala
Rx_L1	Neurgailuaren portuaren linearen terminala
Rx_N	Neurgailuaren portuaren neutroaren terminala

Taula 30: ADSn inplementatutako 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISNaren konponentearen terminalak

Behin hau azalduta, GrAL honetan ADS bidez jorratutako 50 Ω/(50 μH + 5 Ω) LISN motaren emisioen, sarrera-inpedantzien, transferentzia funtzioen, eta abarreko simulazioak konponente honen bidez egin daitezke.

2.2. SCHURTER EMC iragazkiak

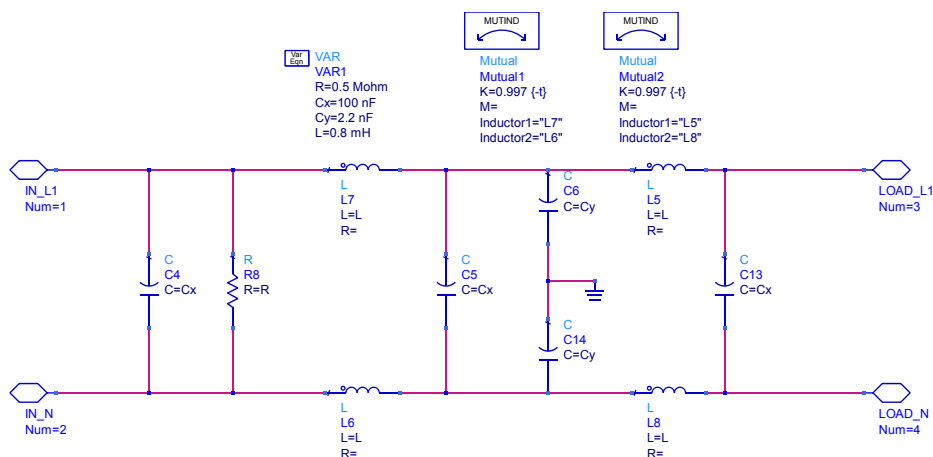
LISNaren zirkuituarekin erabilitako prozedura berbera jarraituz, SCHURTER marka komertzialaren iragazkien konponenteak ADSn sortuko dira. Aurrerago ikusi ahal izango den moduan, EMC iragazki hauek lau terminal izango dituzte. "IN" aurrizkia duten terminalak sare elektrikora konektatzen den portua adierazi nahi dute, eta "LOAD" atzizkia dutenak, ordean, kargara konektatzen den portua. Atzizkiei dagokionez, $50 \Omega / (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$ LISNarekin jarraitutako "_L1" eta "_N" hizkien irizpidea mantenu da.

Terminalaren izena	Azalpena
IN_L1	Sare elektrikoaren portuaren linearen terminala
IN_N	Sare elektrikoaren portuaren neutroaren terminala
LOAD_L1	Kargaren portuaren linearen terminala
LOAD_N	Kargaren portuaren neutroaren terminala

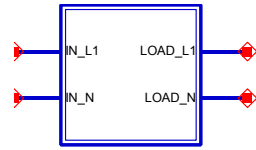
Taula 31: ADSn inplementatutako SCHURTER iragazkien konponentearen terminalak

Azaldutakoarekin, EMC iragazkien eta lortu diren konponente bakoitzaren irudiak agertuko dira aurrerantzean:

2.2.1. SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkia



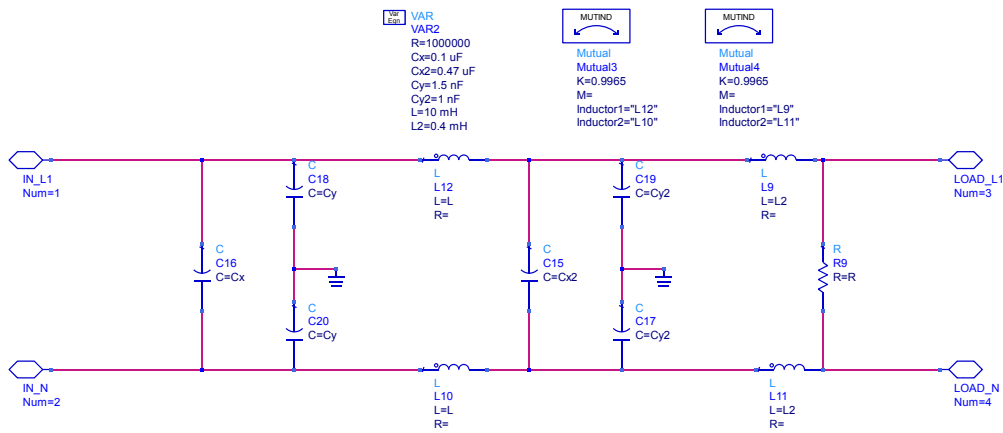
Irudia 54: SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa



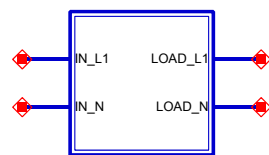
EMC_filter_SCHURTER_5500.2244
X1

Irudia 55: SCHURTER 5500.2044 EMC iragazkiaren konponentea

2.2.2. SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkia



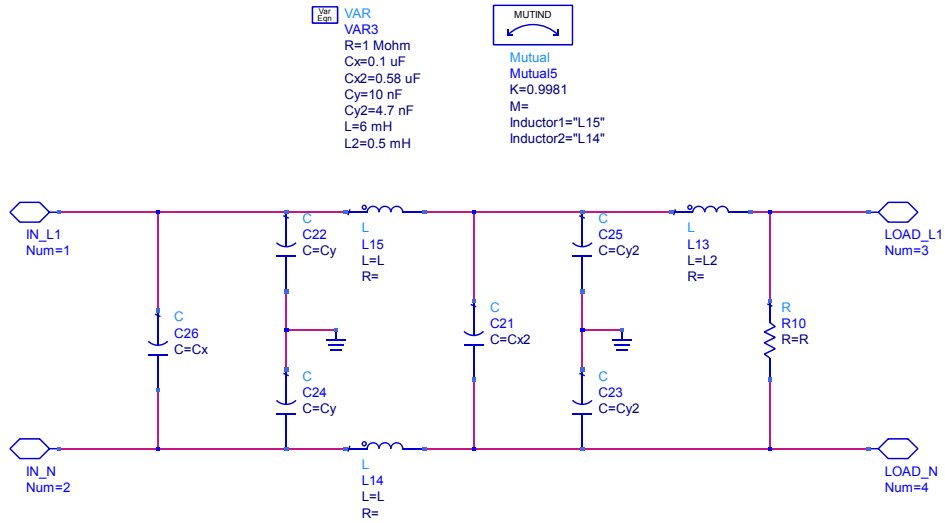
Irudia 56: SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa



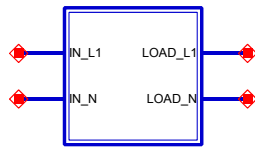
EMC_filter_SCHURTER_5500.2252
X3

Irudia 57: SCHURTER 5500.2052 EMC iragazkiaren konponentea

2.2.3. SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkia



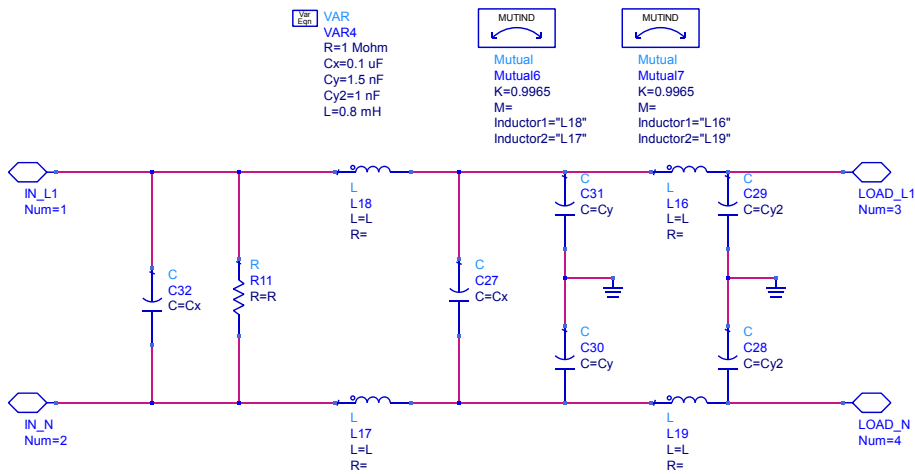
Irudia 58: SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa



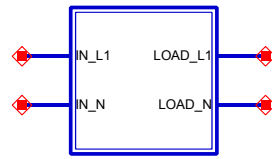
EMC_filter_SCHURTER_5500.2055
X4

Irudia 59: SCHURTER 5500.2055 EMC iragazkiaren konponentea

2.2.4. SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkia



Irudia 60: SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkiaren eskema elektronikoa



EMC_filter_SCHURTER_5500.2060 X5

Irudia 61: SCHURTER 5500.2060 EMC iragazkiaren konponentea

3. ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko baliabideak

Atal honetan LISNen neurketetan dagoen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko duten hiru euskarri digitalak nola erabiltzen diren azalduko da.

3.1. Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplea

Puntu honetan, LISN baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko duen kalkulagailu sinplearen erabilera azalduko da. Euskarri digital hau Excel programaren orri bakar batean inplementatu da:

Input param.	Freq	1,50E+05 Hz	Zo	50 Ω	Z _{lisn}	50 Ω //	5,00E-05 H+	0 Ω
Output								
	mod	phase(rad)	phase(deg)	Binomial	Z _{an}		Γ _{eut}	
	Z _{nom}	34,2933 Ω	0,8150 rad	46,70°	23,5206573277972+24,9561925232636j			
	Z _{an}	30,0072 Ω	0,9821 rad	56,27°	16,6619902083348+24,9561925232636j	α (0 ≤ α ≤ 0,2)	0,2	ρ (0 ≤ ρ ≤ 1)
	Γ _{nom}	0,468650	2,0586 rad	117,95°	-0,219632627408007+0,413997749252169j	θ (0 ≤ θ ≤ 2π)	3,1416 rad	φ (0 ≤ φ ≤ 2π)
	Γ _{an}	0,585052	2,1408 rad	122,66°	-0,315706051732662+0,492559754493468j			6,2832 rad
	Γ _{eut}	1,000000	0,0000 rad	0,00°	1-2,45029690981724E-16j			
	V _{an} /V _{nom}	0,875016	0,1671 rad	9,57°	0,862826657610751+0,145545436677907j	V _{an} /V _{nom}	0,875016	
						20log(V _{an} /V _{nom})	-1,1597 dB	
	$Z_{an} = Z_{nom} + \alpha Z_{nom} \exp(j\theta)$, where $0 \leq \alpha \leq 0,2$ and $0 \leq \theta < 2\pi$							
	$\Gamma_{eut} = \rho \exp(j\phi)$, where $0 \leq \rho \leq 1$ and $0 \leq \phi \leq 2\pi$							
	$\Gamma_{an} = \frac{Z_{an} - Z_0}{Z_{an} + Z_0}$ $\Gamma_{nom} = \frac{Z_{nom} - Z_0}{Z_{nom} + Z_0}$							
	$\left \frac{V_{an}}{V_{nom}} \right = \left \frac{1 + \Gamma_{an}}{1 - \Gamma_{eut} \Gamma_{an}} \cdot \frac{1 - \Gamma_{eut} \Gamma_{nom}}{1 + \Gamma_{nom}} \right $							

Irudia 62: Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplearen Excel orria

Aurreko irudian kalkula gailu simple honen interfazea ikus daiteke. Baliabide honen bitartez frekuentzia jakin batean, EUT jakin batekin, LISN mota batek izango duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkula daiteke. Kalkulu hauek egiteko programari lauki berdeetan dauden datuak eman behar zaizkio:

- **Freq:** LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa ebaluatu nahi den frekuentzia.
- **Z₀:** LISNaren inpedantzia karakteristikoa, normalean 50 Ω-eko izango dena.
- **Z_{lisn}:** LISN motaren inpedantzia, hots, LISNak EUTaren portuan edukiko duen sarrera-inpedantziaren balio nominala.
- **Z_{an} - α:** EUTaren portuan LISNak izango duen tolerantziaren balioa. CISPR 16-1-2 arauak % 20-ko tolerantzia maximoa arautzen du, hau dela eta, alfa 0 eta 0,2 balioen artean egon behar da.
- **Z_{an} - θ:** EUTaren portuan LISNak duen tolerantziaren fasea.
- **Γ_{eut} - ρ:** EUTaren islapen koefizienteak duen modulua.
- **Γ_{eut} - φ:** EUTaren islapen koefizienteak duen fasea

Sarrera parametroekin euskarri digitalak laukizuzen gorrietan bildutako informazioa itzultzen du, honako hau delarik:

- **Z_{nom}:** Emandako frekuentzian ezarritako LISN motak izan behar duen inpedantzia nominala edo teorikoa.
- **Z_{an}:** Jarritako tolerantziarekin, EUTaren portuan egongo den inpedantzia errealak.
- **Γ_{nom}:** Inpedantzia nominalak, inpedantzia karakteristikoarekiko, sortzen duen islapen koefizientea.
- **Γ_{an}:** Jarritako tolerantziarekin, EUTaren portuan egongo den inpedantzia errealak, inpedantzia karakteristikoarekiko, sortzen duen islapen koefizientea.
- **Γ_{eut}:** EUTaren inpedantziak, inpedantzia karakteristikoarekiko, sortzen duen islapen koefizientea.
- **V_{an}/V_{nom}:** Neurketen desbiderapena.
- **|V_{an}/V_{nom}|:** Neurketen desbiderapenaren modulua.
- **20log(|V_{an}/V_{nom}|):** Neurketen desbiderapenaren modulua eskala logaritmikoan.

Euskarri digitalaren orri nagusian, hurrengo sarrera parametroak ditu:

- **Freq:** LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa ebaluatu nahi den frekuentzien zerrenda, MHz-etan.
- **Z₀:** LISNaren inpedantzia karakteristikoa, normalean 50 Ω-eko izango dena.
- **Z_{lisn}:** LISN motaren inpedantzia, hots, LISNak EUTaren portuan edukiko duen sarrera-inpedantziaren balio nominala.
- **Z_{an} - α:** EUTaren portuan LISNak izango duen tolerantziaren balioa. CISPR 16-1-2 arauak % 20-ko tolerantzia maximoa arautzen du, hau dela eta, alfab 0 eta 0,2 balioen artean egon behar da.
- **Γ_{eut} - ρ:** EUTaren islapen koefizienteak duen modulua.

Irteera parametro modura, aurreko puntuan (3.1 Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplea) azaldutako guztiez gain, honako bi parametro garrantzitsu hauek ere kalkulatzen ditu:

- **Max(V_{an}/V_{nom}):** LISNaren tolerantzia dela eta, frekuentzia konkretu horretan, neurketek izango duten desbiderapenaren maximoa, dB-tan.
- **Min(V_{an}/V_{nom}):** LISNaren tolerantzia dela eta, frekuentzia konkretu horretan, neurketek izango duten desbiderapenaren minimoa, dB-tan.

Frekuentzia zehatz baterako, LISN motak izan dezakeen ziurgabetasun kontribuzioa aurreko bi parametroen balio absolutuen maximoak adieraziko du.

Azaldu beharra dago, "Irudia 63"-an urdinez idatzitako "fx" (f1, f2, f3, etab.) letretan klikatuz gero, errenkada horren kalkuluak dituen orrialdea irekiko duela, "Irudia 64"-an ikusten den moduko orria.

3.3. LISN konkretu baten neurketen ziurgabetasun kontribuzio kalkulatzen duen euskarri digitala

Arestian aipatu den moduan, LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzen duen euskarri digitala sortu da. Baliabide honen printzipio matematikoak

lan honen "7.3.2 LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulua" puntuan deskribatu dira.

Hurrengo irudietan baliabide digital honek duen interfazea azaltzen da:

Input param.	Z lsn	50 Ω //	5,00E-05 H	5 Ω	
Output					
Zo	50 Ω				
Γeut					
p (0 ≤ p ≤ 1)	1				
	Freq (MHz)	Zan (Ω) (mod)	phase(Zan) (°)	MAXIMUN DEVIATION	Phase of EUT reflection coeff.
f1	0,009 MHz	5,60 Ω	19,01 °	0,7742 dB	153 °
f2	0,015 MHz	5,94 Ω	34,72 °	-0,8393 dB	199 °
f3	0,020 MHz	6,95 Ω	43,69 °	-0,5722 dB	207 °
f4	0,025 MHz	8,13 Ω	48,50 °	-0,4330 dB	209 °
f5	0,030 MHz	9,37 Ω	51,88 °	-0,2830 dB	214 °
f6	0,050 MHz	14,59 Ω	55,89 °	-0,1236 dB	204 °
f7	0,070 MHz	19,10 Ω	54,53 °	-0,1966 dB	219 °
f8	0,080 MHz	21,39 Ω	53,17 °	-0,2118 dB	220 °
f9	0,100 MHz	25,25 Ω	50,12 °	-0,2152 dB	229 °
f10	0,150 MHz	32,62 Ω	42,01 °	-0,2461 dB	249 °
f11	0,170 MHz	34,68 Ω	39,24 °	-0,2506 dB	259 °
f12	0,200 MHz	37,30 Ω	35,42 °	-0,2500 dB	268 °
f13	0,250 MHz	40,36 Ω	30,35 °	-0,2410 dB	284 °
f14	0,300 MHz	42,45 Ω	26,38 °	-0,2287 dB	294 °
f15	0,350 MHz	43,95 Ω	23,22 °	-0,2114 dB	301 °
f16	0,400 MHz	44,87 Ω	20,74 °	-0,2227 dB	311 °
f17	0,500 MHz	46,19 Ω	17,01 °	-0,2126 dB	321 °
f18	0,700 MHz	47,50 Ω	12,53 °	-0,1915 dB	336 °
f19	0,900 MHz	48,06 Ω	9,91 °	-0,1865 dB	344 °
f20	1,000 MHz	48,23 Ω	8,98 °	-0,1847 dB	348 °
f21	1,500 MHz	48,66 Ω	6,23 °	-0,1776 dB	6 °
f22	2,000 MHz	48,83 Ω	4,86 °	-0,1743 dB	9 °
f23	2,500 MHz	48,91 Ω	4,07 °	-0,1744 dB	16 °
f24	3,000 MHz	48,97 Ω	3,56 °	-0,1730 dB	21 °
f25	4,000 MHz	49,04 Ω	3,00 °	-0,1746 dB	30 °
f26	5,000 MHz	49,08 Ω	2,72 °	-0,1789 dB	39 °
f27	7,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,1913 dB	49 °
f28	10,000 MHz	49,13 Ω	2,53 °	-0,2160 dB	56 °
f29	15,000 MHz	49,09 Ω	3,00 °	-0,2718 dB	65 °
f30	20,000 MHz	48,88 Ω	3,24 °	-0,3243 dB	64 °
f31	30,000 MHz	47,72 Ω	4,14 °	-0,5461 dB	55 °

Irudia 65: LISN konkretu baten ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orri nagusia

mod	phase (rad)	phase(deg)	Binomial	
Znom	5,2150 Ω	0,4633 rad	26,54 °	4,66526383087926+2,33056266711284j
Zan	5,6000 Ω	0,3318 rad	19,01 °	5,29458573748263+1,82410577227459j
Γnom	0,829657	3,0476 rad	174,62 °	-0,825996302267206+0,0778483174528491j
Γan	0,808728	3,0678 rad	175,77 °	-0,806529345180011+0,0595953575268854j
φ (deg)	φ (rad)	Γeut	Var/Vnom	20log(Var/Vnom)
0 °	0,0000 rad	1	1,06455396779813-0,14080746256075j	0,6187 dB
1 °	0,0175 rad	0,999847695156391+0,0174524064372835j	1,0646634045938-0,140702910682259j	0,6194 dB
2 °	0,0349 rad	0,999390827019096+0,034899496702501j	1,0647725950002-0,140598207730445j	0,6202 dB
3 °	0,0524 rad	0,998629534754574+0,052335962429438j	1,06488155535635-0,14049338514686j	0,6210 dB
4 °	0,0698 rad	0,997564050259824+0,0697564737441253j	1,06499030186394-0,140388287743831j	0,6217 dB
5 °	0,0873 rad	0,996194698091746+0,0871557427476582j	1,06509885059692-0,140283040017503j	0,6225 dB
6 °	0,1047 rad	0,994521895368273+0,104528463267653j	1,06520721751082-0,14017759817247j	0,6232 dB
7 °	0,1222 rad	0,992546151641322+0,121869343405147j	1,06531541845197-0,14007189149755j	0,6240 dB
8 °	0,1396 rad	0,99026806874157+0,139173100960065j	1,06542346916654-0,139965959276662j	0,6248 dB
9 °	0,1571 rad	0,987688340595138+0,156434465040231j	1,06553138530948-0,13985976727288j	0,6255 dB
10 °	0,1745 rad	0,984807753012208+0,1736481776693j	1,06563918245338-0,139753299267062j	0,6263 dB
11 °	0,1920 rad	0,981627183447664+0,190808995376545j	1,06574687609713-0,139646539148856j	0,6270 dB
12 °	0,2094 rad	0,978147600733806+0,207911690817759j	1,06585448167457-0,139539470450851j	0,6278 dB
13 °	0,2269 rad	0,974370064785235+0,224951054343865j	1,065962014563-0,139432076566415j	0,6285 dB
14 °	0,2443 rad	0,970295726275996+0,241921895599668j	1,06606949009161-0,139324340693721j	0,6293 dB
15 °	0,2618 rad	0,965925826289068+0,258819045102521j	1,06617692354994-0,139216245825155j	0,6300 dB
16 °	0,2793 rad	0,961261695938319+0,275637355816999j	1,06628433019612-0,13910774736414j	0,6308 dB
17 °	0,2967 rad	0,956304755963036+0,292371704722737j	1,06639172526514-0,138998909975368j	0,6315 dB
18 °	0,3142 rad	0,951056516295154+0,309016994374947j	1,06649912397712-0,138889633850599j	0,6322 dB
19 °	0,3316 rad	0,945518575599317+0,32556815457157j	1,06660654154552-0,13877928419671j	0,6330 dB
20 °	0,3491 rad	0,939692620785908+0,342020143325669j	1,06671399318527-0,13866977547031j	0,6337 dB

Irudia 66: Edozein LISN motak frekuentzia batean duen ziurgabetasun kontribuzioa kalkulatzeko Excelaren orria

Euskarri digitalaren orri nagusian, hurrengo sarrera parametroak ditu:

- **Freq:** LISNaren ziurgabetasun kontribuzioa ebaluatu nahi den frekuentzien zerrenda, MHz-etan.
- **Z_0 :** LISNaren inpedantzia karakteristikoa, normalean 50Ω -eko izango dena.
- **Z_{lisn} :** LISN motaren inpedantzia, hots, LISNak EUTaren portuan edukiko duen sarrera-inpedantziaren balio nominala
- **$|Z_{\text{an}}|$:** Neurtutako edo LISNaren kalibrazio liburuan jasotako EUTaren portuan egonkortze-sarearen inpedantziaren moduluaren balioan, Ω -etan.
- **$\text{phase}(Z_{\text{an}})$:** Neurtutako edo LISNaren kalibrazio liburuan jasotako EUTaren portuan egonkortze-sarearen inpedantziaren fasearen balioan, gradu sexagesimaletan.
- $\Gamma_{\text{eut}} - \rho$: EUTaren islapen koefizienteak duen modulua.

Irteera parametro modura, "3.1 Ziurgabetasun kontribuzioaren kalkulagailu sinplea" puntuan azaldutako guztiez gain, honako bi parametro garrantzitsu hauek ere kalkulatzeko ditu:

- **MAXIMUM DEVIATION:** LISNaren tolerantzia dela eta, frekuentzia konkretu horretan, neurketek izango duten ziurgabetasun kontribuzioa, dB-tan. Balio hau, adierazitako frekuentzian, neurketen desbiderapen balio maximo eta minimoen balio handienak adierazten du, balio absolutuan.
- **Phase of the EUT reflection coeff.:** "MAXIMUM DEVIATION" balioa lortzeko EUTaren islapen koefizienteak duen fasearen balioa, gradu sexagesimaletan.

Azaldu beharra dago, "Irudia 65"-an urdinez idatzitako "fx" (f_1, f_2, f_3 , etab.) letretan klikatuz gero, errenkada horren kalkuluak dituen orrialdea irekiko duela, "Irudia 66"-an ikusten den moduko orria.

