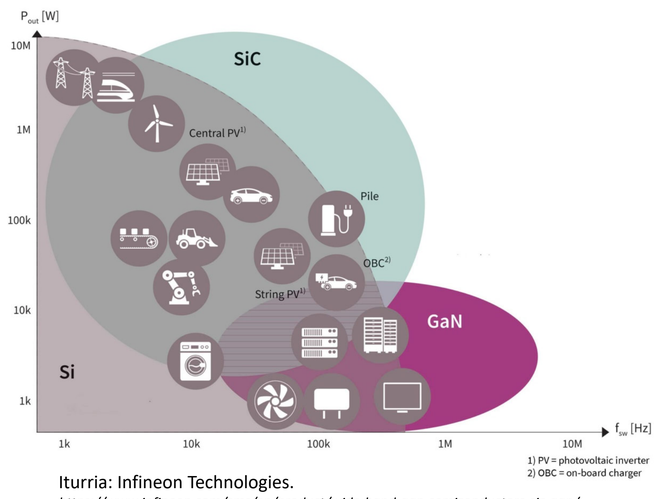
Interferentzia elektromagnetikoaren azterketa potentzia-elektronikako sistemetan Si-WBG trantsizio teknologikoaren testuinguruan

Javier Oyarzun Goyalde, Iosu Aizpuru Larrañaga
Mondragon Unibertsitateko Goi Eskola Politeknikoa, Loramendi kalea 4, 20500, Arrasate-Mondragón (Gipuzkoa)
joyarzun@mondragon.edu

SARRERA



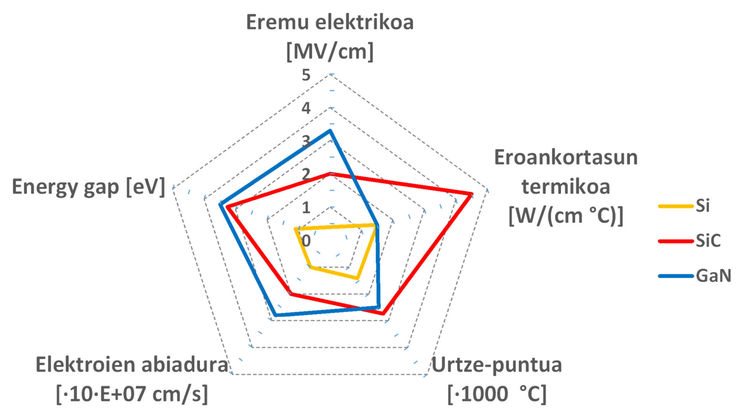
Iturria: Infineon Technologies.
https://www.infineon.com/cms/en/product/wide-band-gap-semiconductors-sic-gan/

Potentzia-elektronikako aplikazioen bilakaeraren ondorioz behar berriei aurre egin ahal dieten materialen inguruko ikerketa eta garapena etorri da. WBG multzoaren barruan dauden konposatuek silizioaren ezaugarriak hobetzen dituzte.

Si-WBG trantsizio teknologikoak beste ondorio batzuk badakartza ere, esaterako, **EMIaren eragina areagotzea**. **EMC-probak** gainditzeko ezinbestekoa da ezagutzea EMIaren iturriak zeintzuk diren eta EMIa zirkuitu eta sistemetan barrena nola hedatzen den.

Lan hau EMIa kuantifikatzeko beharra eta WBGrako trantsizioak dakartzan ondorioen gainean planteatzen da, non landu gabeko edo gutxi landutako zenbait alderdi jorratu nahi diren, hala nola **parametroen sentikortasuna** aztertzea eta horien aldakortasuna ereduetara eramatea.

Erdieroaleen ezaugarrien konparaketa



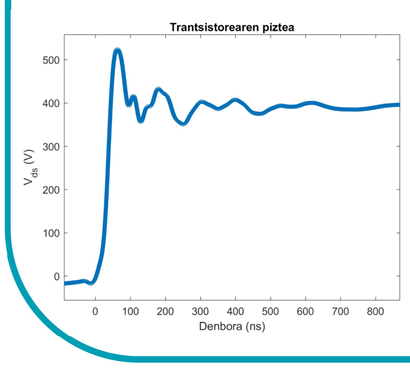
ARLOKO EGUNGO EGOERA

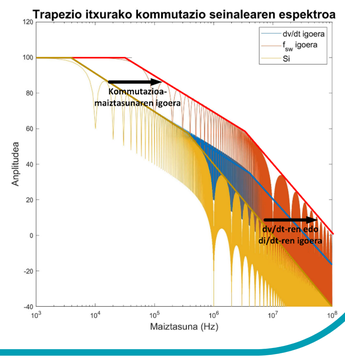
1 EMI iturriak eta espektroa

- **Iturri nagusiak**:
  - Erdieroaleen kommutazioan tentsioak eta intentsitateak duten aldakuntza azkarra (dv/dt eta di/dt).
  - Elementu parasitoen kitzikapenak sortutako oszilazioak (*ringing*).
- **Espektroaren maila eta banda-zabalera** kommutazio-seinalearen ezaugarrien menpe dago: seinalearen anplitudea (A), igoera- edo jaitsiera-denbora (t_r), periodoa (T) eta pultsuaren zabalera (τ).

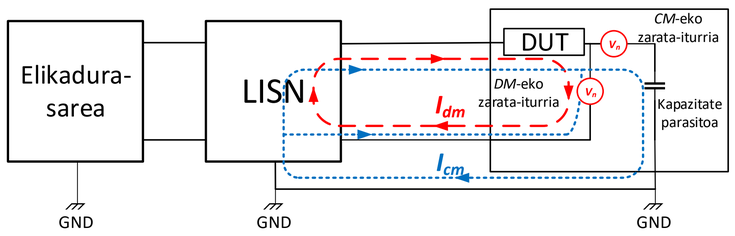
$$V(f) = \frac{2A\tau}{T}\left|\frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau}\right|\left|\frac{\sin(\pi f t_r)}{\pi f \tau}\right|$$

- **Si-WBG aldaketak** alde garbiak ekarri ditu:
  - Kapazitate parasitoak (sarrerako kapazitatea, irteerako kapazitatea eta ate-drainatzaile kapazitatea) magnitude-ordena batean jaitsi dira.
  - Kommutazioko igoera- eta jaitsiera-denborak % 50 baino gehiago murriztu dira.





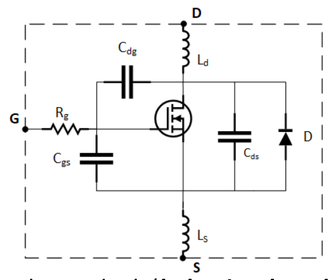
2 EMIaren hedapena



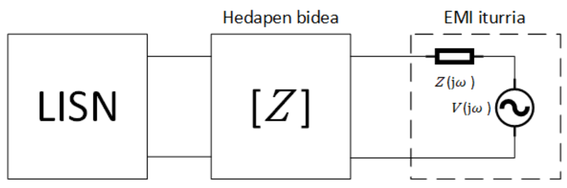
3 EMI-ereduak

Bi multzo handitan sailka daitezke:

- Osagaien fisikan oinarritutako ereduak (***physical models***).



- Portaerazko ereduak (***behavioral models***).



4 EMIa leuntzeko teknikak

- **Ferritak** eta ***snubber*-ak**. Oszilazioen moteltzea.
- **Iragazkiak**. Inpedantzien desegokipena.
- **Atearen kontrolerako teknikak**. Ateko intentsitatearen eta tentsioaren aldakuntza azkarren kontrola.
- **Erradiadoreak konektatzeko teknikak**. Erdieroaleei lotutako erradiadoreetan erabilitako konexio motak eragina du gidatutako eta erradiatutako EMIan.

5 EMI araudia eta EMC probak

IEC 61000, **CISPR 1X** eta **CISPR 2X** arau-multzoak:

- **Xedapen orokorrak** (igorpenerako eta immunitaterako mugak, neurketa teknikak eta probak, gomendioak eta txosten teknikoak).
- **Produktu-familien eta produktuen gainerako estandarrak** (audio/bideo gailuak, etxetresnak, argiteria, informatika-aparailuak, lurreko eta itsasoko ibilgailuetako ekipamendua...).

Bateragarritasun elektromagnetikoko probak:

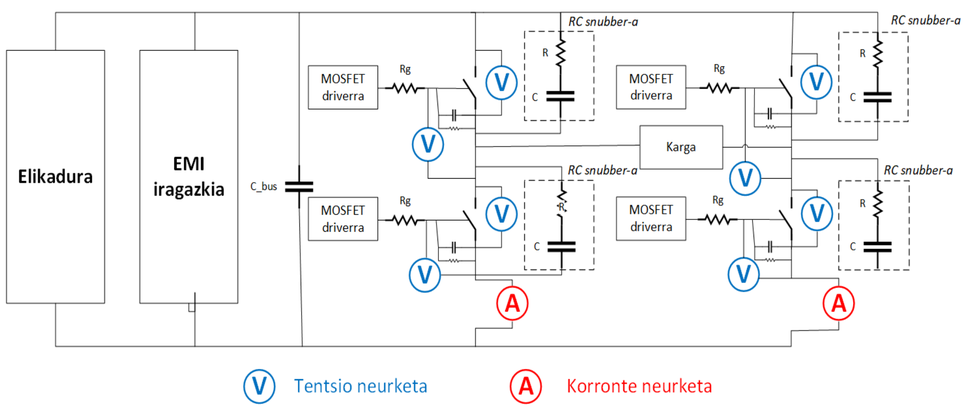
- Lineak gidatutako igorpenak, 9 kHz – 30 MHz tartean.
- Erradiatutako igorpenak, 30 MHz – 18 GHz tartean.
- Erradiazio-immunitatea.
- Lineak gidatutako immunitatea.

IKERKETAREN MUINA

Helburua: WBG erdieroaleen erabilerak EMIen gainean duen inpaktoa kuantifikatzeko saiakuntza-bankua diseinatzea eta eraikitzea.

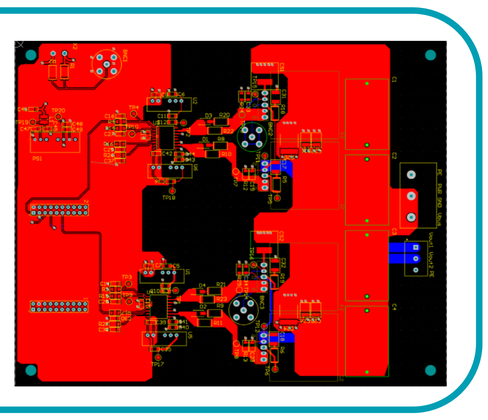
Parametroen sentikortasuna:

- Drainatzaile-hornitzaile kapazitatea (C_{ds}).
- Ate-hornitzaile kapazitatea (C_{gs}) eta erresistentzia (R_{gs}).
- Buseko kondentsadoreak.
- Kommutazio-begiztaren induktantzia parasitoa.
- *RC snubber*-ak.
- EMI iragazkien eragina (modu komunean eta modu diferentzialean).
- Erradiadoreen konexio motak.



Zirkuituaren *layout*-a – EMIaren sorkuntza gutxitzeko teknikak:

- Seinale-bideak aukeratu.
- Korronte-begiztak minimizatu.
- Pisten induktantzia minimizatu.
- Elikadurako eta lurreko planoak eratu.
- Zirrikituak eta planoen etendurak saihestu.



ONDORIOAK

- WBG erdieroaleekin lan egiten hasi izanak transistoreen berezko parasitoen eta zirkuituetako loturekin zerikusia dutenen eragina berriro ere aztertu behar izatea ekarri du.
- Denbora- eta maiztasun-eremuko erantzunak aztertu behar dira, portaera-eredu bat aurkitzeko eta EMIaren sorkuntza eta hedapena murrizteko, era gidatuan zein erradiatuan.
- Gainera, erradiatutako EMIrako ereduekin lan egin nahi izanez gero, antenekin edo eremu gertuko zundekin egindako neurketak denbora-eremuko seinaleekin erlazionatu behar dira, erradiazioaren jatorria antzeman ahal izateko.

ETORKIZUNERAKO NORABIDEA

- Potentzia-bihurgailu batentzako **maiztasun altuko eredua garatzea**, ahalik eta elementu parasito gehiagoren efektua barneratzen duena, eta eredua simulazio-erreminta batean txertatzea.
- **Entseguak eta EMC arauen betetze-saiakuntzak egiteko laborategia definitu eta muntatu**. Araudian eta neurketa-tekniketan sakontzeak saiakuntza errepikagarriak egitea ahalbidetuko du, eta horrek EMI-iturriak eta hedapen- eta erradiazio-bideak antzemateko jarraibide fidagarriak ezartzea ekarriko du.

ERREFERENTZIAK

Bishnoi, H. (2013). *"Behavioral EMI-Models of Switched Power Converters."* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).

Friedrichs, P., Harder, J. M. T., Kaminski, N., Lindemann, A., Lorenz, L., Schindele, L., eta Ward, P. (2016). *"ECPE position paper on next generation power electronics based on wide bandgap devices"*. Jul-2016.

Lemmon, A. N., Brovont, A. D., New, C. D., Nelson, B. W., eta DeBoi, B. T. (2020). *"Modeling and validation of common-mode emissions in wide bandgap-based converter structures."* IEEE Transactions on Power Electronics, 35(8), 8034-8049.

Liu, T., Ning, R., Wong, T. T. eta Shen, Z. J. (2016). *"Modeling and analysis of SiC MOSFET switching oscillations."* IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 4(3), 747-756.

Oswald, N., Anthony, P., McNeill, N. eta Stark, B. H. (2013). *"An experimental investigation of the tradeoff between switching losses and EMI generation with hard-switched all-Si, Si-SiC, and all-SiC device combinations."* IEEE Transactions on Power Electronics, 29(5), 2393-2407.

Ott, H. W. (2011). *"Electromagnetic compatibility engineering. John Wiley & Sons."*

Wang, J., Chung, H. S. H. eta Li, R. T. H. (2012). *"Characterization and experimental assessment of the effects of parasitic elements on the MOSFET switching performance."* IEEE Transactions on Power Electronics, 28(1), 573-590.

Zhang, B. eta Wang, S. (2019). *"A survey of EMI research in power electronics systems with wide-bandgap semiconductor devices."* IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 8(1), 626-643.