

Konstruiranje elektronskih naprav

Razmisleki o ločevanju in povezovanju mas

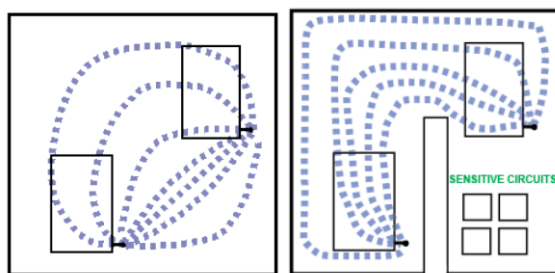
Zakaj ločevati mase?

Če začnemo z glavnim razlogom: zakaj bi sploh želeli ločevati mase posameznih delov vezja?

S tem, ko ločimo mase posameznih poddelov vezja (npr. maso digitalnega dela vezja DIG ter maso analognega dela vezja ANALG), zagotovimo, da se ločijo tudi poti za povratne tokove, ki tečejo po masah:

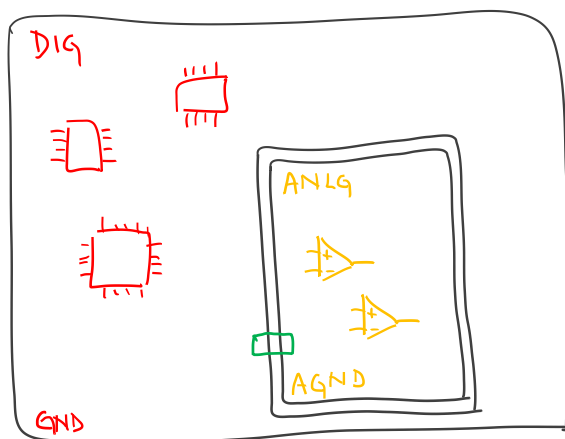
- digitalni povratni tokovi tečejo le po digitalni masi nazaj proti svojemu (digitalnemu) viru tokokroga
- analogni povratni tokovi tečejo le po analogni masi nazaj proti svojemu (analognemu) viru tokokroga

Na ta način zagotovimo, da "šumeči" digitalni povratni tokovi ne vstopajo na občutljivi, tihi analogni del. Idejo ste pokazali na predavanjih:



Slika 1 - z zarezami v GND zalivki lahko dosežete, da problematični povratni tokovi ne tečejo preko občutljivih delov vezja. Ločitev mas pa to idejo popelje do "skrajnosti".

Pogoj, da se doseže tako ločitev povratnih tokov, pa je seveda ta, da dejansko poskrbite za fizično ločitev komponent: da se digitalne komponente *fizično nahajajo na svojem delu vezja* ter da so *analogne komponente na "svojem ločenem otoku"*. Poglejte idejo spodaj.

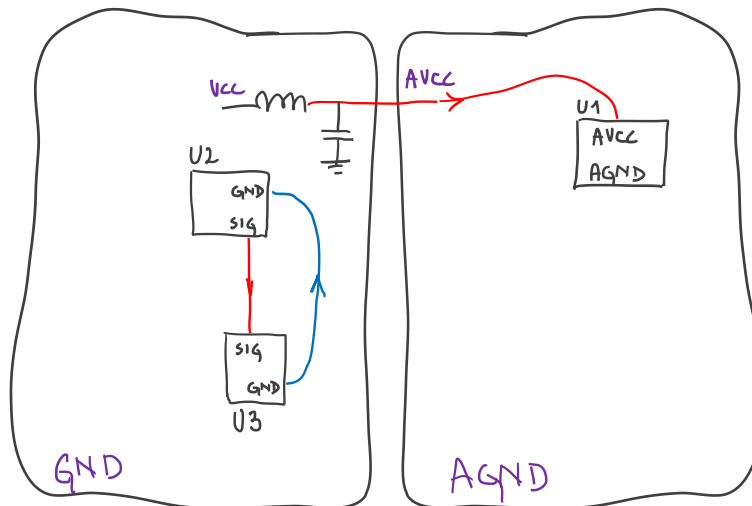


Ker analogne komponente ležijo "na svojem analognem otoku – na svoji analogni masi", je očitno potrebno poskrbeti, da se ta analogna masa nekje sklene z digitalno maso (zeleni del na zgornji sliki) – da tako digitalni del kot analogni del vezja ležita na istem potencialu. V nadaljevanju si bomo pogledali, kako razmišljati, ko se odločamo, kam postaviti to točko stika med obema masama (tj. zeleni del). Izhajali bomo iz preprostega primera in potem gradili proti zahtevnejšim primerom.

Izbira točke stika med masama

1) če imamo le analogno napajanje

Izhajajmo iz preprostega primera. Predpostavimo, da za analogni del potrebujemo le napajanje, torej AVCC. Predpostavimo še, da to napajanje dobimo tako, da digitalno napajanje VCC filtriramo preko LC filtra. Poglejte situacijo spodaj.

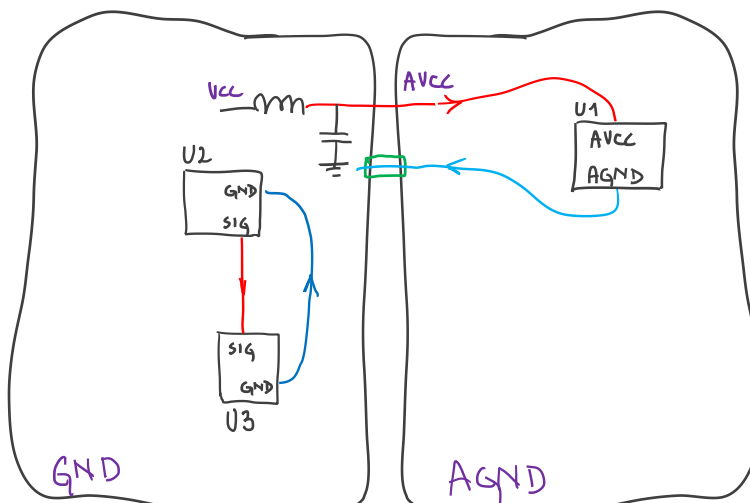


Mimogrede: opazite lahko tudi *signalni tokokrog* med dvema digitalnima blokoma U2 in U3: blok U2 je oddajnik, ki po signalni poti požene tok proti sprejemniku U3 (rdeči del), nakar se signalni tokokrog zaključi tako, da se povratni tokovi vrnejo po GND masi proti *viru signala* (modri del). Vedite, da so ti tokovi digitalne narave in zato visoko-frekvenčni in "šumeči". Kasneje bomo pokazali, kakšno motečo vlogo lahko igrajo ti tokovi.

Če se vrnemo nazaj k problemu analognega napajanja: v analognem delu vezja želimo napajati blok U1 z AVCC. Vprašanje:

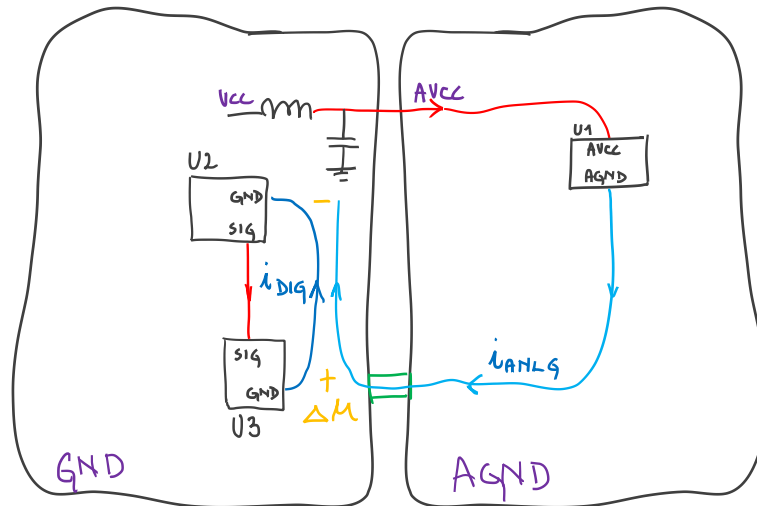
kam je smiselno postaviti točko stika, da bo analogno napajanje AVCC najbolj stabilno in brez šuma?

Element, ki stabilizira AVCC napetost, je seveda kondenzator LC filtra. Zato bi bilo smiselno maso AGND vpeti na spodnji sponki (tj. minus sponko) tega kondenzatorja. To pa lahko dosežemo tako, da točko stika postavimo v bližino negativne sponke kondenzatorja. Poglejte idejo spodaj.

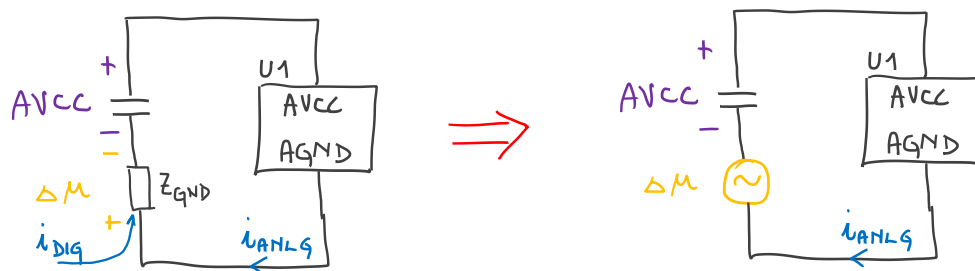


Na ta način smo zagotovili dobro filtrirano, stabilno, tiho analogno napajalno napetost AVCC.

Sedaj pa pogledjmo še, kaj se pa zgodi, če točko stika med masami postavimo dlje stran od negativne sponke filtrirnega kondenzatorja. Glejte sliko spodaj.



Narisali smo celoten napajalni tokokrog bloka U1. Vidite, da je sedaj povratna pot analognega napajalnega toka i_{ANLG} (svetlo modri del) precej daljša in da *velik del te poti teče po digitalni masi*. In na tem daljšem digitalnem delu poti se lahko pojavijo tudi digitalni povratni tokovi i_{DIG} (modri del). Ti digitalni povratni tokovi pa na skupnem delu poti ustvarijo "šumečo napetost" Δu (oranžni del)! To pa pomeni, da analogni blok U1 sedaj ne "čuti več stabilizacijskega učinka kondenzatorja", pač pa je stabilni napetosti kondenzatorja dodan še nekakšen "šumni generator" Δu ! Tega si pa seveda ne želite, saj to pomeni ošumljeno napajalno napetost občutljivega analognega bloka U1. Pogledjte ekvivalentno skico situacije spodaj.



Vidite, da gre za prenos motenj preko mehanizma skupne impedance (angl. common impedance coupling), v našem primeru preko impedance dela digitalne mase Z_{GND} .

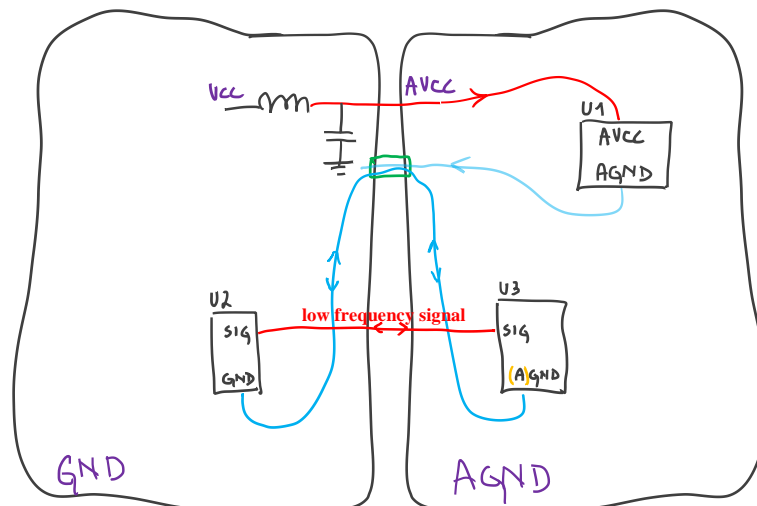
Torej, če povzamemo:

v smislu zagotavljanja stabilne analogne napetosti bi bilo željeno imeti točko stika blizu negativni sponki filtrirnega kondenzatorja AVCC napetosti.

V nadaljevanju pa bomo videli, da temu ne moremo vedno ustreči oziroma da je smiselno dati prednost bolj kritičnim delom vezja.

2) dodamo *nizko-frekvenčno* povezavo med digitalnim in analognim blokom

Sedaj pa zgornjo situacijo razširimo tako, da dodamo digitalni blok U2 ter analogni blok U3. Med obema blokoma poteka *nizko-frekvenčna* signalna pot (rdeča povezava). Zavedati se je potrebno, da vsak signal v splošnem požene tok: od oddajnika signala po signalni poti do prejemnika signala. In ker se mora vsak tokokrog zaključiti, se zaključi tudi tokokrog signala: tok steče skozi sprejemnik na maso sprejemnika in se vrne nazaj proti masi oddajnika (če oddajnik razumemo kot vir energije, ki poganja signalni tok). Poglejte situacijo spodaj.



Povratna pot signala med U2 in U3 je označena z modro. Vidite lahko, da je zaradi višje ležeče točke stika med obema masama (GND in AGND) ta povratna pot precej dolga in posledično je *zanka* celotnega signalnega tokokroga precej velika. Ampak to ni problematično, saj imamo opravka z nizko-frekvenčnim signalom!

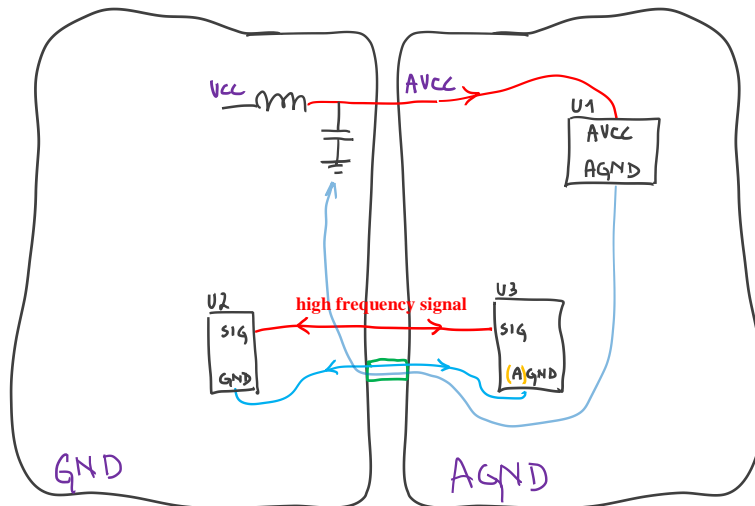
Torej, če povzamemo:

dokler imamo opravka z nizko-frekvenčnimi signali, ki prehajajo med digitalnim in analognim delom vezja, lahko točka stika obeh mas ostaja pri viru analogne napetosti AVCC (tj. blizu negativni sponki filtrirnega kondenzatorja AVCC napetosti).

Kaj pa, če imamo opravka z višje-frekvenčnim signalom? V tem primeru pa bi velika zanka celotnega signalnega tokokroga za signale višjih frekvenc predstavljala težave. Za signale višjih frekvenc je potrebno poskrbeti, da so signalni tokokrogi čim manjši, zato bo potrebno točko stika med masami premakniti temu ustrezno, kar pa bomo pokazali v naslednjem primeru.

3) če imamo opravka z višje-frekvenčno povezavo med digitalnim in analognim blokom

Kot že nakazano zgoraj, pa je potrebno pri višje-frekvenčnih signalnih povezavah izbrati točko stika med masama tako, da z njo zagotovimo majhno zanko signalnega tokokroga. To pa pomeni, da je potrebno točko stika med masami postaviti v bližino višje-frekvenčne signalne povezave. Poglejte idejo spodaj.



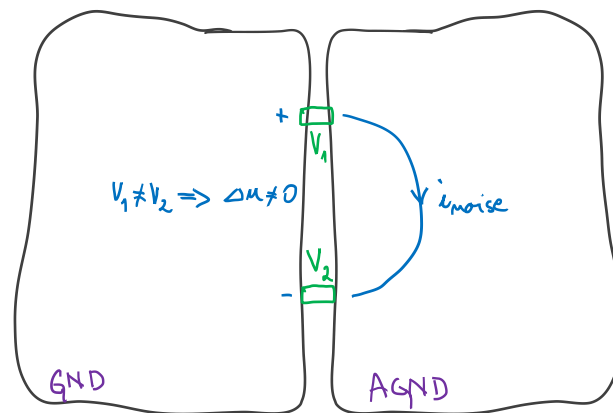
Na tak način ste napravili kompromis v prid bolj kritični težavi: zmanjšali ste signalni tokokrog med digitalnim in analognim blokom, hkrati pa ste poslabšali stabilnost ("tihost") analognе napajalne napetosti AVCC zaradi razloga, ki smo ga obdelali v prvem primeru zgoraj.

Če bi želeli zgornjo situacijo izboljšati, bi bilo potrebno na nek *pameten način* zagotoviti dve povratni poti za tokove, ki se vračajo nazaj na digitalni del:

- povratno pot za napajalne tokove bi želeli imeti blizu negativne sponke filtrirnega kondenzatorja
- povratno pot za višje-frekvenčne signale pa bi želeli imeti blizu signalne poti

Vendar to ne pomeni, da lahko uporabimo kar dve točki stika med obema masama! Če uporabimo dve točki stika med masama, smo zelo verjetno ustvarili razmere, ki dopuščajo, da preko občutljive analognе mase AGND stečejo moteči tokovi! Poglejte situacijo spodaj.

Ko otoček mase vpnete na preostali del vezja v *dveh različnih točkah*, se lahko zgodi sledeče: *digitalni* povratni tokovi lahko povzročijo, da postaneta potenciala na obeh točkah stika mas različna ($V_1 \neq V_2$ na spodnji sliki). To pa pomeni, da obstaja možnost, da ta potencialna razlika $\Delta u = V_1 - V_2$ skozi občutljivo analogni maso AGND porine moteči tok. In tega seveda ne želite. Poglejte situacijo.

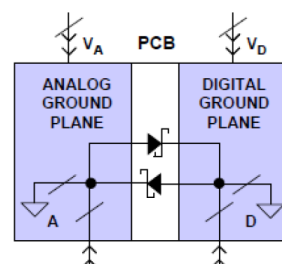
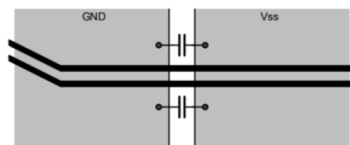


Zaradi zgoraj nakazanih razlogov se je nujno potrebno izogniti dvema točkama stika med masama in namesto drugega "bakrenega stika" uporabiti takšen stik, ki bo prepuščal le (dovolj velike) visoko-frekvenčne signale, ki so posledica signalne poti med digitalnim delom in analognim delom. O teh rešitvah ste pa govorili na predavanjih. Poglejte sliko spodaj.

Signalne povezave med otoki

Visokofrekvenčne povezave

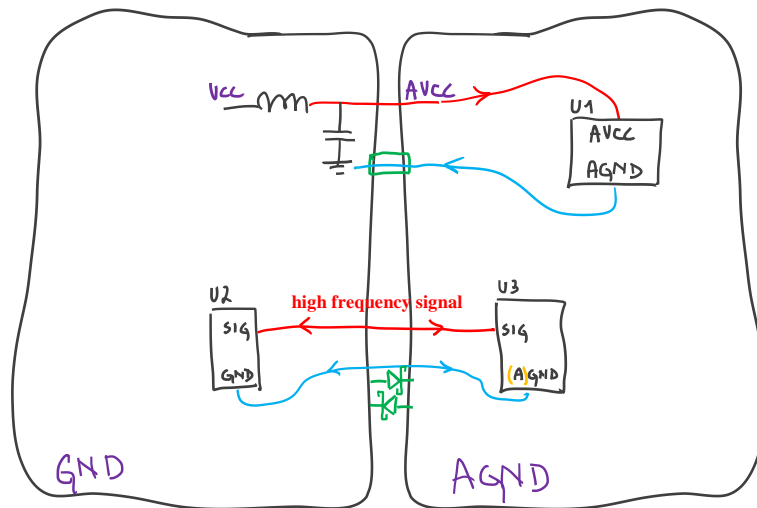
Visokofrekvenčne povezave



Namesto "bakrene povezave" med masami se uporabi bodisi kondenzatorje (ki prepuščajo le signale ustrezno visokih frekvenc) ali pa hitre Schottky diode (ki prepuščajo le signale dovolj velikih amplitud in so dovolj hitre, da lahko prenašajo visoko-frekvenčne signale). In to rešitev bomo nakazali v naslednjem primeru spodaj.

4) dodatne povratne poti za višje-frekvenčne signale

Kot že nakazano zgoraj, lahko prejšnjo rešitev izboljšamo tako, da točko stika vrnemo nazaj k negativni sponki filtrskega kondenzatorja (da dobimo stabilno, tiho AVCC), hkrati pa dodamo dve *anti-paralelni* Schottky diodi za povratno pot visoko-frekvenčnega signala. Poglejte idejo spodaj.



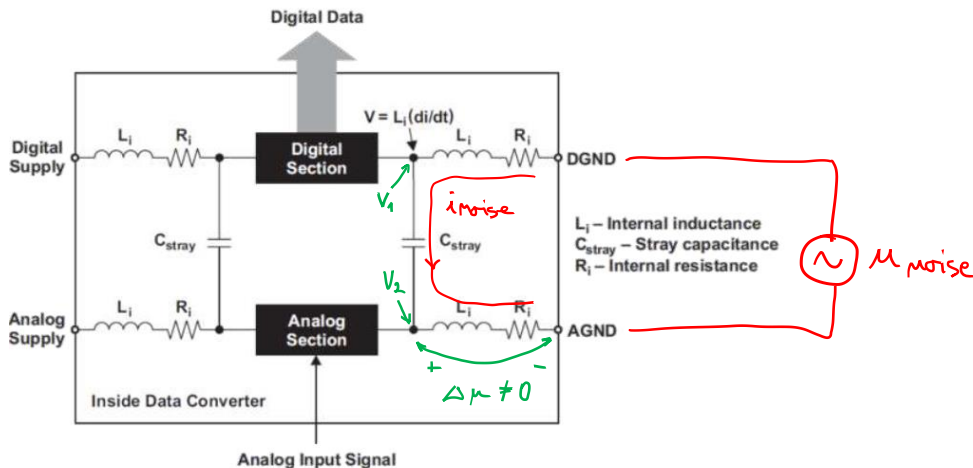
S tako rešitvijo pa smo dobro rešili obe težavi:

- imamo tiho, stabilno analognu napajalno napetost VCC, ker jo "črpamo" praktični iz sponk filtrirnega kondenzatorja ter
- imamo majhno površino višje-frekvenčnega signalnega tokokroga na račun dodatne povratne poti preko Schottky diod

Poglejmo si pa še primer, kjer točko stika med masama postavimo z namenom, da zmanjšamo presluh digitalnega šuma *znotraj* "mixed-signal" analogno-digitalne komponente.

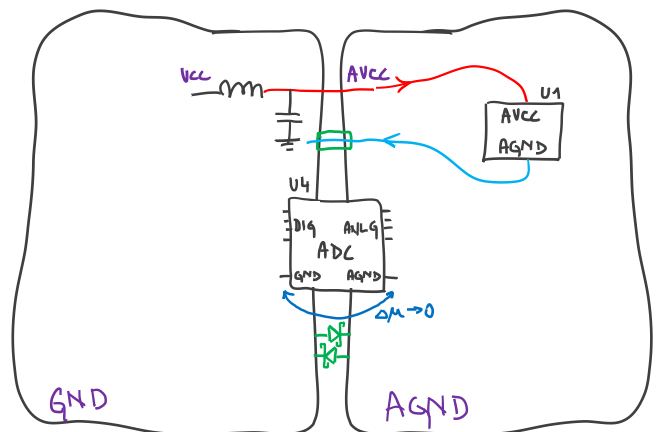
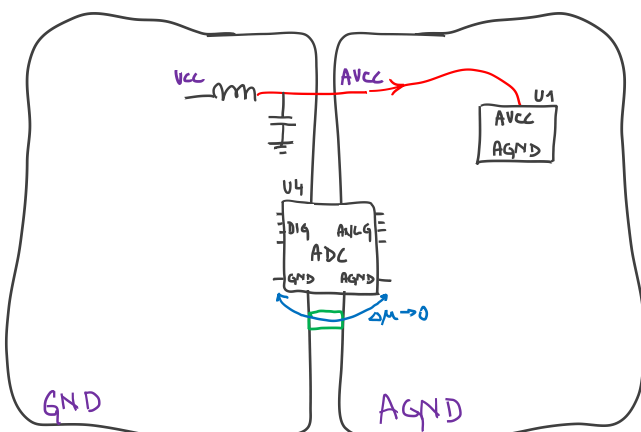
5) minimizacija presluha digitalnega šuma znotraj analogno-digitalne komponente

Na predavanjih ste govorili, da lahko zaradi napetostne razlike med digitalno maso čipa DGND in analogno maso čipa AGND, ki je posledica digitalnega šuma, prihaja do prenosa digitalnih motenj na analogni del čipa *znotraj samega čipa*! Poglejte to problematično situacijo spodaj.



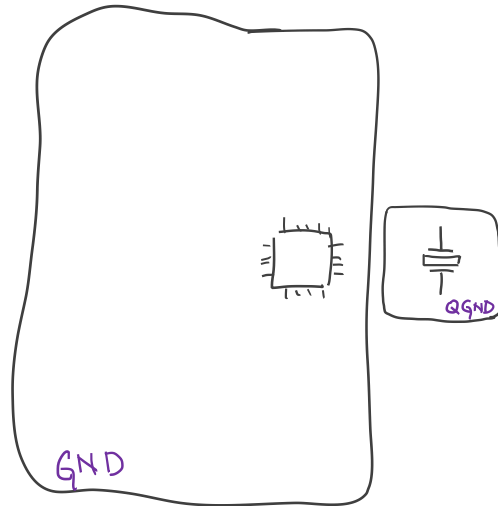
Razlika med potencialoma mas DGND in AGND ustvari potencialne razlike v vozliščih znotraj čipa (V_1 , V_2), zaradi česar se požene visoko-frekvenčni tok skozi parazitno kapacitivnost med tema dvema vozliščema. To pa pomeni, da notranja analogna vozlišča (v našem primeru V_2) niso več "tiha", stabilna, pač pa pričnejo "šumeti" zaradi padcev napetosti na *parazitnih impedancah* (v našem primeru Δu), ki jih ustvarja motilni tok (tj. i_{noise}).

Tako situacijo lahko ublažimo tako, da poskrbimo, da sta potenciala pinov DGND in AGND zunaj čipa čimbolj enaka. To pa pomeni, da je potrebno poskrbeti za nizko-impedančno povezavo med tema dvema pinoma, kar pa lahko dosežemo z "bakreno povezavo" ali diodno povezavo med obema masama v bližini obeh pinov. Poglejte ideji spodaj.



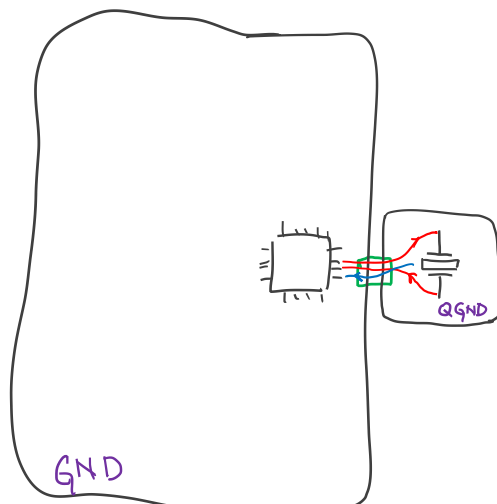
6) kadar imamo na ločeni masi le "višje-frekvenčne pasivne elemente"

Poseben primer situacije iz tretjega poglavja je situacija, kadar imamo opravka z višje-frekvenčnimi signali, a le-ti potujejo le do pasivnih elementov, ki pa ne potrebujejo analognega napajanja. Tipičen primer tale situacije je kvarčni kristal, ki je del oscilatorja. Poglejte to situacijo spodaj.



V takem primeru gre pa pravzaprav za obrnjeno situacijo: tokrat ne želimo z ločitvijo mas "zaščititi" občutljivi del vezja; tokrat želimo pa problematični del vezja ločiti stran od preostalega dela vezja. Še drugače: problematične povratne tokove želimo omejiti in jim preprečiti, da se bi se širili po masi preostalega dela vezja.

Kako izberemo točko stika med takima masama? Razmislek je enak kot v tretjem poglavju zgoraj: točko stika moramo postaviti tako, da zagotovimo čim krajšo pot visoko-frekvenčnim povratnim tokovom. oglejte idejo spodaj.



Postopek načrtovanja delov vezja z ločeno maso

Poglejmo le ključne korake, kako se ločiti načrtovanja dela vezja, ki ima ločeno maso:

1. izberite *smiselno mesto* – *otok na tiskanini* za del vezja, ki ima ločeno maso;
2. vse komponente tega podvezja postavite znotraj tega otoka;
3. premislite, kakšno strategijo povezovanja mas boste uporabili (glejte poglavja zgoraj);
4. načrtajte podvezje, pri čemer načrtujte tako, da ustrezete prej izbrani strategiji povezovanja mas;
5. dodajte potrebne zalivke za mase;
6. otoček ločene mase povežite na preostalo maso glede na izbrano strategijo.

Altium Designer napotek za delo z večimi zalivkami

Kadar načrtujete vezje z večimi zalivkami na isti plasti tiskanine, je potrebno biti previden glede *vrstnega reda zalivanja* teh poligonov (angl. pour order). Z vrstnim redom zalivanja poligonov namreč določite, kateri poligon bo zalit prej in posledično kateri preostali poligoni se bodo morali prilagajati tem prvo zalitim že obstoječim poligonom.

V Altium Designerju vrstni red zalivanja poligonov določate znotraj

Tools -> Polygon Pours -> Polygon Manager

Glejte spodaj.

