



Analog Elektronik – 1

- * Aykut Ulusan kimdir?**
- * Analog Elektronik Nerelerde Gereklidir?**
- * Oversampling & Undersampling & Nyquist & ADC**
- * Aliasing & Anti-Aliasing**
- * Pasif Filtreler : RC Filtreler**
- * Pasif Filtreler : LC Filtreler**
- * Köşe Frekansı & Kazanç & Zayıflatma**
- * PI Tipi Filtre Tasamı & Kullanım Yerleri**
- * LC Filtre ve Freewheeling Diode (in Step-Down)**
- * Seramik ve Tantal Kapasitörler (Derating)**
- * Ferrite Bead & LC Filter & Damping Faktör**



Aykut Ulusan kimdir?

Eğitim : Elektronik =>Endüstriyel Elekt. => Elektronik Müh.

Paylaşabildiğim Projelerim :

- * 3 Adet Endüstriyel Havalandırma Cihazı
- * Meteoroloji Kartı
- * Ultra Low Power Infrared Dedector (2 kez, farklı tasarım/yazılım)
- * Akım kontrollü/sabit Kaynakları power led sürücüleri + Flyback güç kaynakları
- * Endüstriyel Bir Araca Otomatik Vites Kontrolü
- * Araç Takip Projesi
- * GPRS Kontrollü Su Sayacı
- * LoRa & LoRaWan Kontrollü Su Sayacı
- * Düşük gürültülü ve yüksek kazançlı sinyal işleme kartları
- * Dijital kontrollü voltaj / akım / güç kontrolü kartları
- * Dijital kontrollü amplifier'lar
- * 32 Kanal Trafik Sinyalizasyon Kontrolcüsü (2 kez, farklı tasarım/yazılım)



Analog Elektronik Nerelerde Gereklidir?

- * Analog Sensörlerle Çalışırken Sinyal Kaybını Önlemek
Sıcaklık, Basınç, Hız, Ses vb gibi sinyaller ile çalışırken
- * Sinyal İşleme (Buffer, Sinyal Yükseltme, Azaltma, Tersleme..)
Opampli devrelerde..
- * Güç elektroniğinde
AC-DC veya DC-DC power supply'larda
- * Analog Sinyal Filtrelemede (Pasif ve Aktif)
LowPass/BandPass/HighPass
- * Power Supply Filtrelemede ve Ripple Azaltmada
Post Filter olarak
- * Hassas Ölçüm
uV veya uA ölçerken



Sampling, Oversampling, ADC ile çalışma

- * Analog sinyaller ADC ile dijitale çevrilir
- * Bir çevrime sample denir
- * SNR(Signal to Noise Ratio):ADC'nin gerçek sinyal-gürültü oranıdır
- * ENOB(Effective Number of Bits):ADC'nin gerçek bit çözünürlüğü
- * Birbiriyle ilişkili parametrelerdir, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{SNR(dB)} = 6.02 \cdot \text{ENOB} - 1.76$$

ADS1675 : 24-bit Delta-Sigma ADC , 4MSPS

$$\text{SNR}=103\text{dB (at 4MSPS)} \Rightarrow \text{ENOB} = 16.8 \text{ Bits}$$

$$\text{SNR}=111\text{dB (at 125KSPS)} \Rightarrow \text{ENOB} = 18.14 \text{ Bits}$$

Oversample : Düşük frekanslı bir sinyali işleyecekseniz ve ADC'niz hızlıysa oversample yaparak bit çözünürlüğünüzü arttırabilirsiniz.

$$\text{OversampleRate} = 4^{\text{Nbit}}$$

$$\text{Nbit} = \log_2 (\text{OversampleRate}) / 2$$

Örnek : 12bitlik stm32'nin ADC'sini kullanıyorsanız ve 13bit çözünürlük istiyorsanız. Nbit=1 \Rightarrow 4 katı oversampling gerekir



Sampling, Oversampling, ADC ile çalışma

* Tabii oversampling Nquist frekansına göre olacak

* Mesela 1Khz'lik sinyali 4 katı oversampling yaparak 1bit kazanmak için

$f_{Nquist} \geq 2 * F_{signal} = 2Khz \Rightarrow \text{OversamplingFrq} = 4 * 2Khz = 8khz$ 'de Örneklemek gerekir.

1Khz'lik sinyali 256Khz'de örneklersek :

$N_{bit} = \log_2 (\text{OversampleRate}) / 2 \Rightarrow \log_2(256)/2 = 4bit$

12Bitlik ADC 16 bitlik gibi olur.

Fakat SNR veya ENOB o kadar değişmeyebilir.

* STM32 SNR=69db \Rightarrow ENOB=11.1Bit (11Bitlik ADC diyebiliriz)

256 Sample ile SNR = 76dB \Rightarrow ENOB=12.4 Bit

Görüldüğü gibi 16 bit olmamış.

ADS1285 : 32bit DeltaSigma 4KSPS ADC

SNR=134dB \Rightarrow ENOB = 22Bit (10 Bit kayıp var)

Teorik olarak OverSampleRate'in(OSR)SNR'a etkisi = $10 * \log(OSR)$

SNR = **6.02***Bit + 1.76 + $10 * \log(OSR)$

OSR=4 ise 1 bit \Rightarrow SNR olarak **6dB** kazandırır



Undersampling

- * Nquist Frequency (f_{sample}) $\geq 2 * f_{\text{signal}}$

- * Bu kritere uyulmazsa aliasing oluşur ($f_{\text{sample}} < 2 * f_{\text{signal}}$)

- * Mesela 100Khz merkezli bir taşıyıcı ve 1Khz bandlı data sinyelimiz var. 100Khz \Rightarrow iyi örnekleme için \Rightarrow 10 katı \Rightarrow 1000Khz

ADC 8 bitten büyükse = 2 Byte * 1MSPS = 2 Milyon Byte/sn

Bu çok büyük memory ve hız gerektirir. Bu durumda undersampling yapılabilir. Formülü:

Faliasing = $|f_{\text{signal}} - f_{\text{sample}}|$ $f_{\text{signal}} = 100\text{Khz}(99.5\text{Khz}-100.5\text{Khz})$

$f_{\text{sample}} = 99\text{Khz}$ veya 101Khz seçersek 1Khz'de aliasing oluşur

Faliasing = $|100\text{Khz}-99\text{Khz}| = 1\text{Khz} \Rightarrow |100\text{Khz}-101\text{Khz}| = 1\text{Khz}$

Sinyelimiz 0.5Khz ile 1.5Khz bandı içinde olacaktır.

99Khz için $99\text{Khz}/1.5\text{Khz} = 66$ sample

101Khz için $101\text{Khz}/1.5\text{Khz} = 68$ sample

- * Bu durumda 99-101 arasını anti-aliasing filtre ile filtrelemek gerekir

Bu filtre analog filtredir, bandpass, $BW = f_2 - f_1 = f_m / Q$

Anti-aliasing filtre olmazsa, 105Khz'de istenmeyen sinyal varsa

$f_s = 102\text{Khz}$ $f_{\text{aliasing_105Khz}} = |102-105| = 3\text{Khz}$ 'de aliasing yapar

Bu orjinal sinyalinizi etkileyebilir, bozabilir veya MCU içinde çalışan sinyal tespit algoritmanızı bozabilir



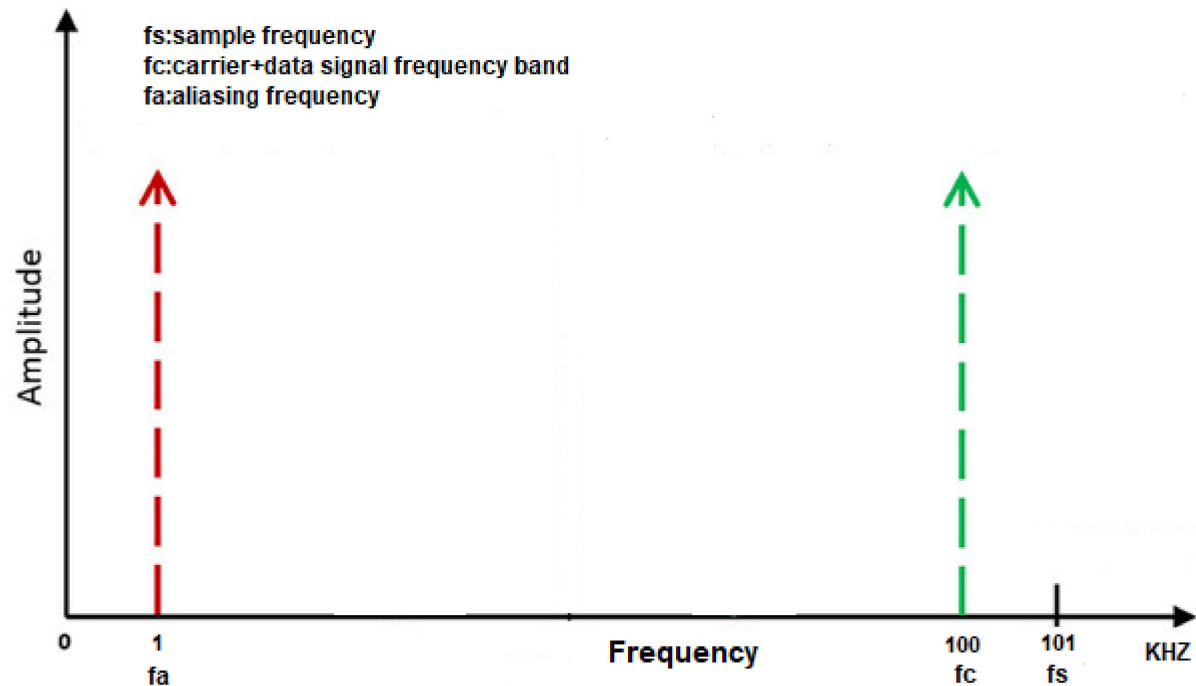
RFT_ch4_pg3_FSK.webp

Undersampling

Aşağıda taşıyıcı frekansımızın üstüne(100Khz) 1Khz banda sahip bir data sinyelimiz bindirilmiş ve biz bu sinyali 101Khz ile örneklersek(ADC ile), örnekleme frekansı 200Khz'in altında(Nyquist kriteri) olduğu için aliasing olur, başka bir deyişle frekans kayması olur. Aliasing frekansı(f_a) = $|f_s - f_c| = 101 - 100 = 1\text{Khz}$

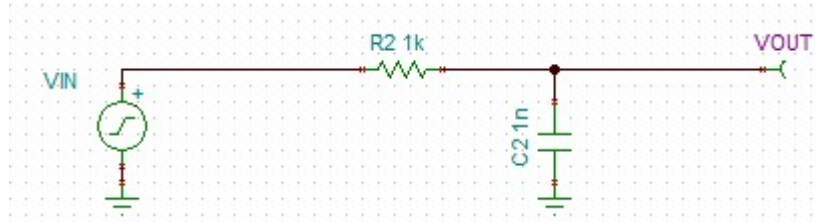
Aliasing frekansını 10Khz'de isteseydik $f_s = |f_c - f_a| = |100 - 90| = 10$ veya $|100 - 110| = 10$ olur.

Ama f_s , f_c 'ye yakın seçilirse sinyal içindeki sample sayısı her zaman daha fazla olacaktır.



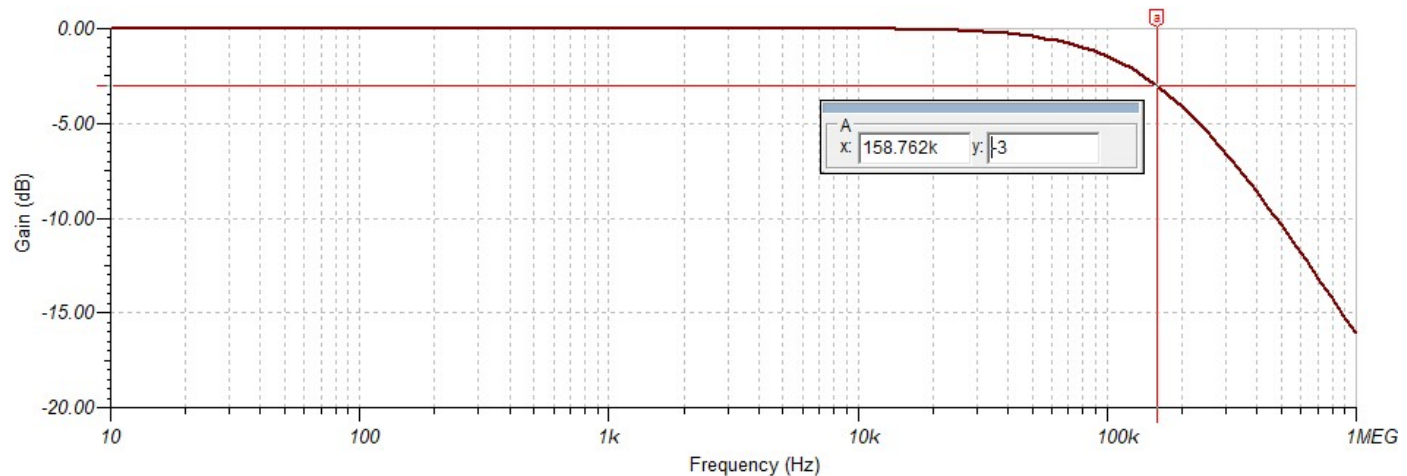
Passive Filters – RC Filters

* **RC filters** : Rezonans frekansında $X_C = R$ olur



$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad R = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



$R=1K, C=1n \Rightarrow f_c = 158762\text{Hz}$ bulunur (-3dB)

$A = 20 \log (V_{out}/V_{in}) \Rightarrow -3=20\log(V_{out}/V_{in}) \Rightarrow V_{out}/V_{in}=10^{-3/20}$

$V_{out}/V_{in}= 0.707$ yani $V_{out} = V_{in} * 0.707V$ olacaktır.



Passive Filters – RC Filters

$P_{out} = V_{out}^2 / R_L$ R_L =Yük direnci $V_{out}=0.707 \cdot V_{in}$ idi

$P_{out} = (0.707 \cdot V_{in})^2 / R_L = 0.5 \cdot V_{in}^2 / R_L = 0.5 \cdot P_{in}$

Görüldüğü gibi köşe frekansında güç yarıya düşüyor.

* Soru : Rezonansta $X_C=R$, neden $V_{out}=V_{in}/2$ olmadı

Çözüm: $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + R^2} = R \cdot \sqrt{2}$

$V_{out} = V_{in} \cdot X_C / Z = V_{in} \cdot R / (R \cdot \sqrt{2}) = V_{in} / \sqrt{2} = V_{in} \cdot 0.707$

(Faz farkından dolayı)

Örnek: PWM'den DC elde etmek istiyoruz

İşlemci Portu => 3.3V, 100Khz PWM %50 duty ve 10mA

3 dereceden RC filtre tasarlayacağız. $A = 3 \cdot 20 \cdot \log(f_{pwm}/f_c)$

Buradan 60dB'lik eğimle sinyalleri zayıflatacağız.

$f_c = f_{Sinyal}/50 = 100Khz/50 = 2000Hz$ seçersek

$A = 60 \cdot \log(100Khz/2000Hz) \Rightarrow A = -102dB$

$R = V_{port}/I_{portMax} = 3.3V / 10mA = 330\Omega$, $f_c = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C)$

$f_c = 2000Hz \Rightarrow C = 241nF$ $C = 220nF$ kullanalım

Yeni $f_c = 2192Hz$

Passive Filters – RC Filters

1. Filtrenin hızlı şarjı için port akım sınırlarına yakın $R=330$ seçildi

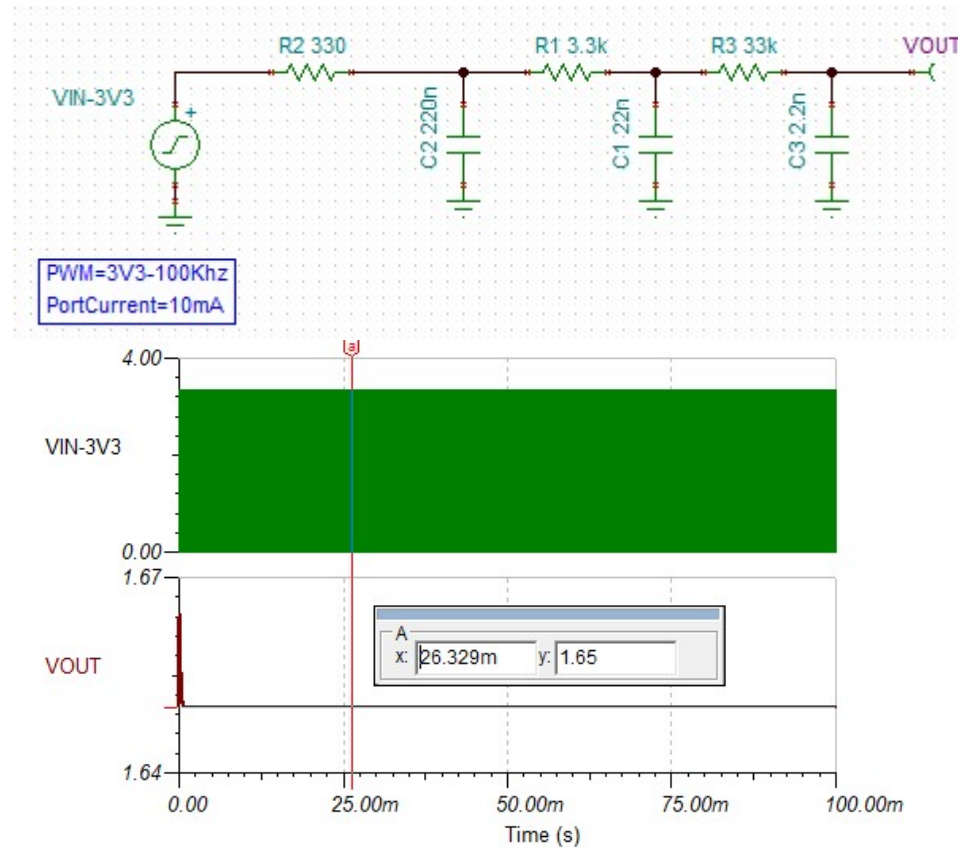
$F_c=2192\text{Hz}$ için $C=220\text{nF}$ bulundu, sonrakilerde $R*10$, $C/10$ yapıldı

Sonuçta RC filtre sayesinde PWM'den DC elde ettik, hatta ripple 1mV bile değil.

Sonrasında opamp ekleyip, devrenin çıkış akımını kuvvetlendirebilirsiniz. DutyCycle'ı değiştirerek çıkış voltajını değiştirebilirsiniz. Sadece DC değil, sinüste elde edebilirsiniz.

$330\text{R} \rightarrow 3.3\text{K} \rightarrow 33\text{K}$ (10 katı artıyor)

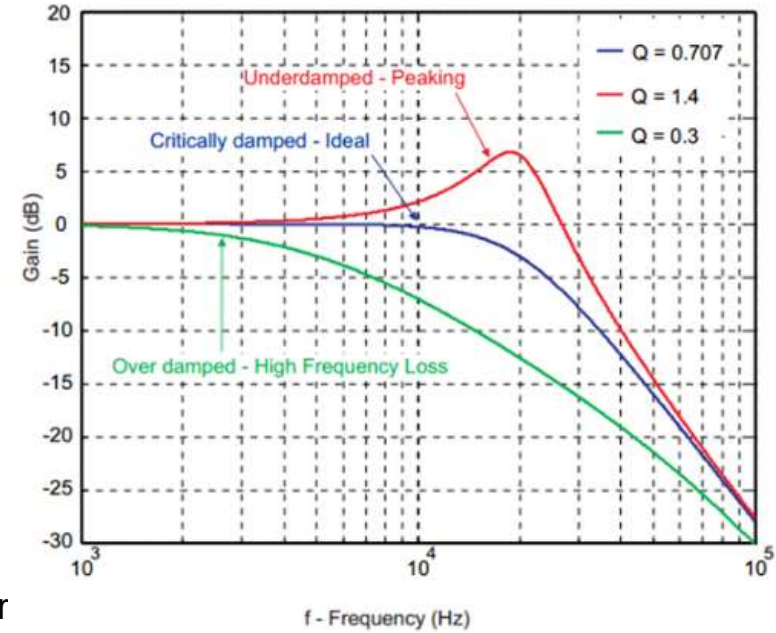
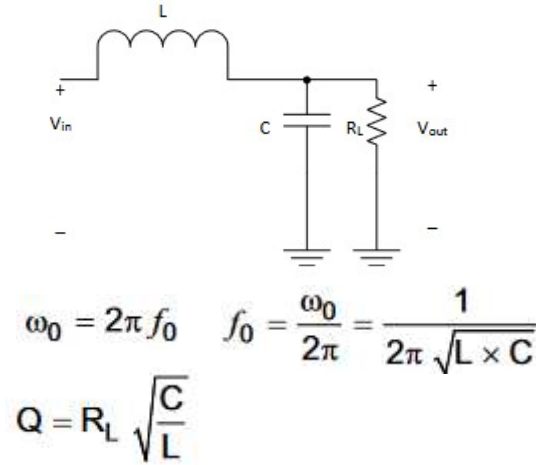
$220\text{n} \rightarrow 22\text{n} \rightarrow 2.2\text{n}$ (10 katı azalıyor) $V_{DC}=1.65\text{V}$ (3.3V 'un yarısı çünkü PWM %50)



Passive Filters – LC Filters

* LC Filters: RC filtrele göre 2 kat daha iyi gürültü bastırır.

Fakat rezonans frekansında Q kadar (filtre kalite faktörü) sinyalde değişim olabilir. Q değeri yüksekse LC filtreden sonraki devreye zarar verebilir. Bu nedenle bu Q değeri genelde belirli bir aralıkta istenir.



f_0 =cut-off frq Q =Filter Quality Factor

R_L olmazsa veya çok büyük değerse Q sonsuza gider

Butterworth Q değeri olan $0.707=1/\sqrt{2}$ yi ve f_0 formülü kullanırsak

$$L = \frac{R_L \times \sqrt{2}}{\omega_0} \quad C = \frac{1}{\omega_0 \times R_L \times \sqrt{2}}$$

Yani C ve L 'yi bu değerlere göre seçersek $Q=0.707$ olur ve rezonans frekansında peak olmaz.

Passive Filters – LC Filters

Örnek: Mesela bir devremiz var ve girişinde bir 100Khz step-down var ama 100mV ripple ürettiyor LC filtre kullanarak ripple'ı 40dB(100Kat) azaltmak istiyoruz. Step-Down çıkış Vout=5V, devremizde linmax=0.25A olsun. Bu durumda RinMin =5V/0.25A 20Ohm olacaktır.

$R_L = 20\Omega$ 'u bulmuş olduk.

LC filtre frekans olarak $A = 40 \log(f_{\text{signal}}/f_c)$ formülü ile sinyali zayıflatır.

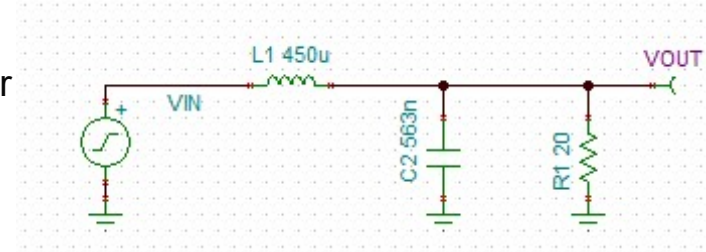
$A = 40\text{dB}$ istiyoruz $f_{\text{signal}}/f_c = 10 \Rightarrow f_c = f_{\text{signal}}/10$ bulunur

$f_{\text{signal}} = f_{\text{stepdown}} = 100\text{Khz} \Rightarrow f_c = 10\text{Khz}$ olacaktır.

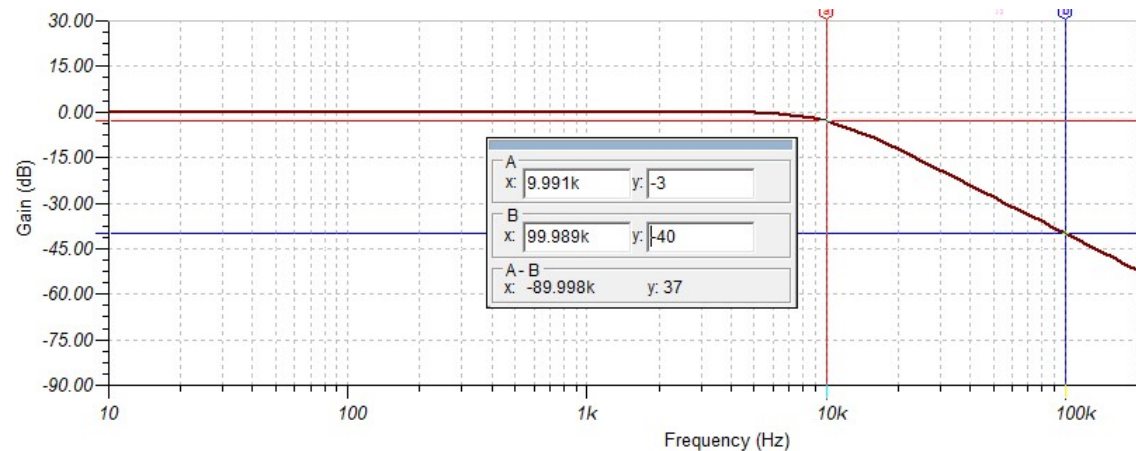
L'yi bulalım. $\omega = 2\pi \cdot 10\text{Khz} = 62831\text{rad/sn}$

$$L = \frac{R_L \times \sqrt{2}}{\omega_0} \quad \text{Değerleri yerine koyarsak bulunur}$$

$$C = \frac{1}{\omega_0 \times R_L \times \sqrt{2}} \quad C = 563\text{nF} \text{ (560nF seçilebilir)}$$



$$Q = R_L \cdot \sqrt{C/L} = 20 \cdot \sqrt{560\text{nF}/450\mu\text{H}} = 0.633 \text{ (563nF olsa 0.707)}$$

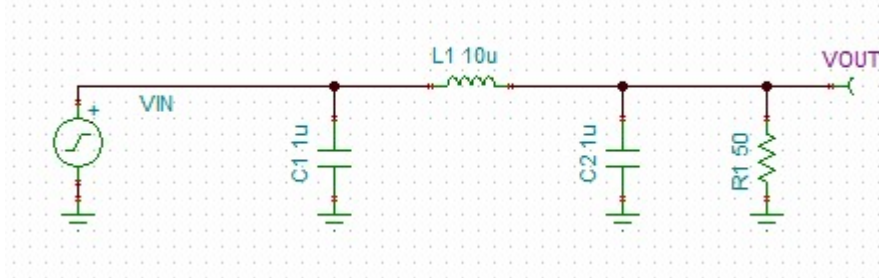


Passive Filters – LC Filters

Örnek: 5V'lık devremizin girişine $f_c=50\text{KHz}$ olan bir PI tipi LC filtre tasarlayalım. Çıkış empedansı 50Ohm olsun. (butterworth Q'sunu dikkate almadan)

Çözüm: $f_c=50\text{KHz}$, $I_{outMax}=V_{inMax}/R_{out}=5V/50\text{Ohm}=100\text{mA}$

$C=1\mu\text{F}$ seçersek $L=10.1\mu\text{H}$ (en yakın değer $10\mu\text{H}$)



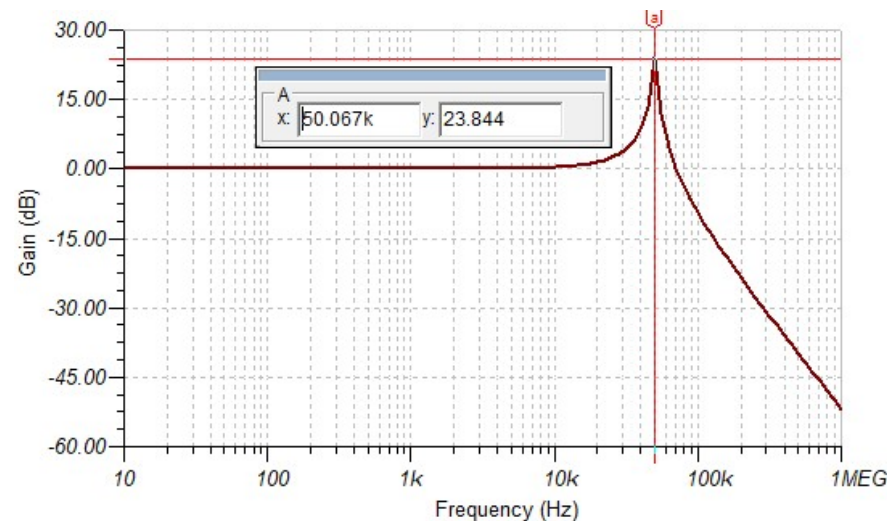
$$f_c = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \times C}}$$

$$Q = R_L \sqrt{\frac{C}{L}} \quad Q = 15.81 \quad V_{out} = V_{in} \times 0.707 = 5 \times 0.707 = 3.535\text{V} \quad (\text{fc'de ve Q olmadan})$$

$$V_{out_Q} = 3.535\text{V} \times 15.81 = 55.89\text{V}$$

$$Q\text{'dan gelen voltaj kazancı } A(\text{dB}) = 20 \times \log(55.89/3.535) = 20 \times \log(Q) = 20 \times \log(15.81)$$

$$A(\text{dB}) = 23.98\text{dB}$$

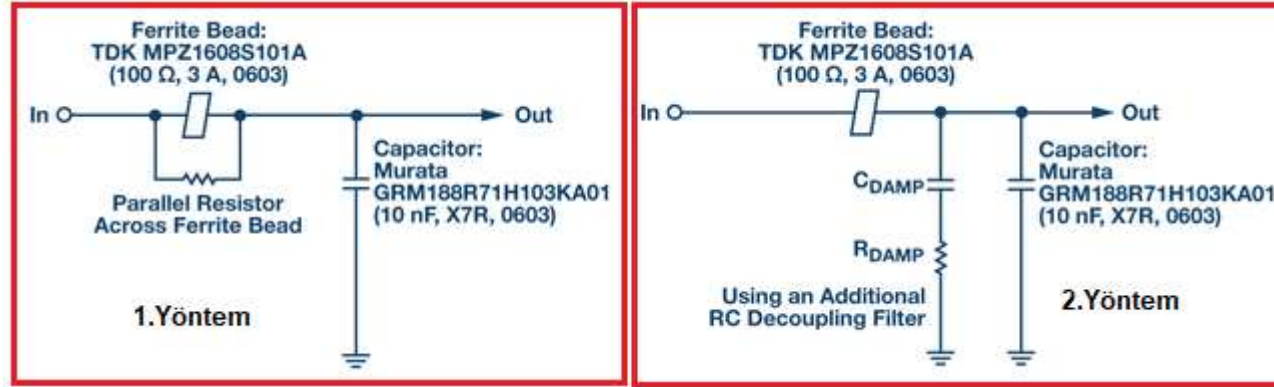


Passive Filters – LC Filters

Görüldüğü gibi girişi 5V olan sistem $f_c=50\text{KHz}$ 'de 100mA çektiğinde 55V'u gördü.

Not: İşte bunun için MCU/FPGA beslemesinde feritbead, indüktör damping edilmeden önerilmez.

Damping yapmak için L'ye paralel bir R veya çıkışta yüke paralel RC seri devresi eklenir.



Mesela 2. yöntemi kullanacak olursak, f_c frekansında yük empedansı olarak R_{damp} 'ı göstermeliyiz. $C_{damp} \geq 4$ seçilir, $R_{damp} = \sqrt{L/C}$ seçilirse

$$Q = R_L \sqrt{\frac{C}{L}}$$

R_L yerine R_{damp} yazılırsa $\Rightarrow Q=1$ (yaklaşık) olacaktır.

Yeni eklenen C'den dolayı köşefrekansı değişecektir.

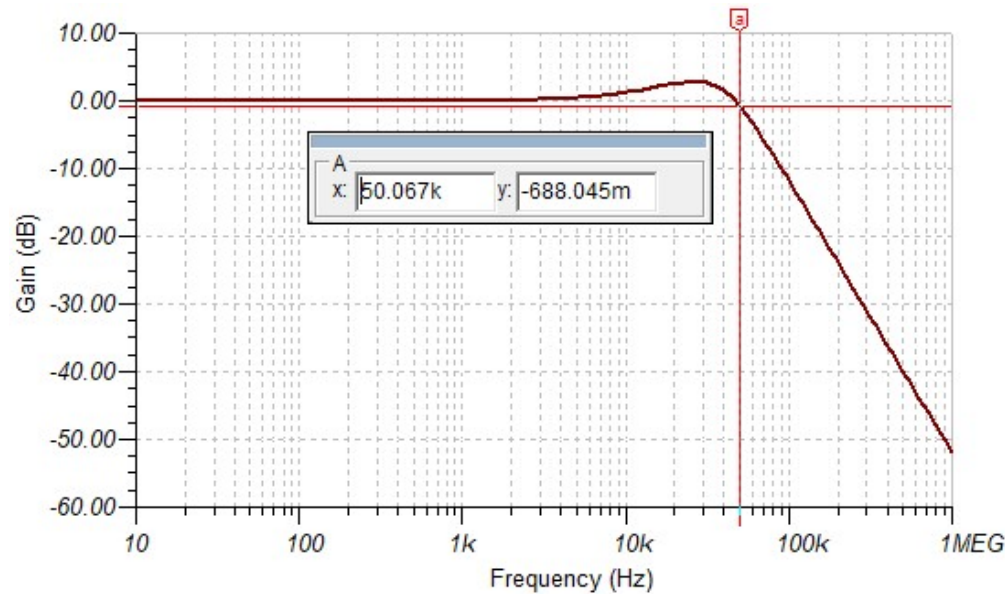
Not : Bu LC devresi için:

L değeri FerriteBead(FB)'in X_L 'sinden hesaplanır ($X_L=100\text{ohm}$ at 100Mhz)

$C = 10\text{nF}$ dolayısıyla $C_{damp}=47\text{nF}$ veya 100nF seçilebilir ($C_{damp} \geq 4$)

Passive Filters – LC Filters

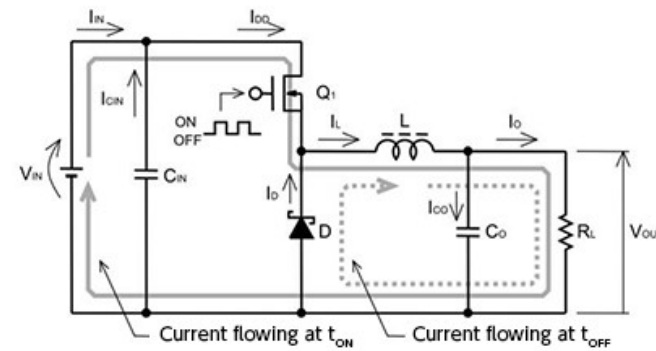
Aslında bu yöntem köşe frekansını kaydırarak Q'yu yumuşatır.



L üzerinden geçen akım
aniden kesilirse ne olur?
(Freewheeling Diode)
Step-Down Regulator.

$$V_L = -L \frac{dI}{dt}$$

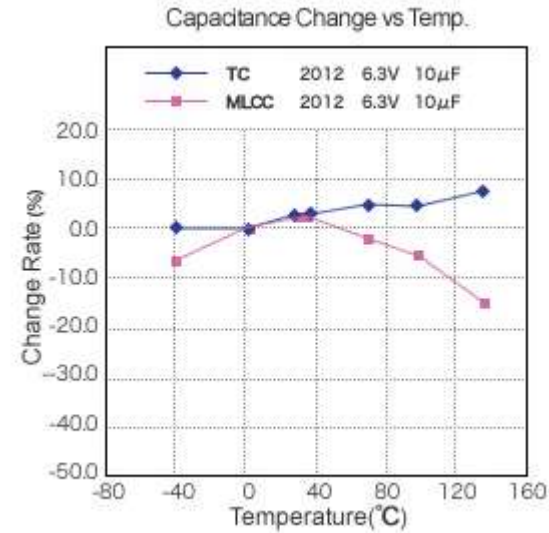
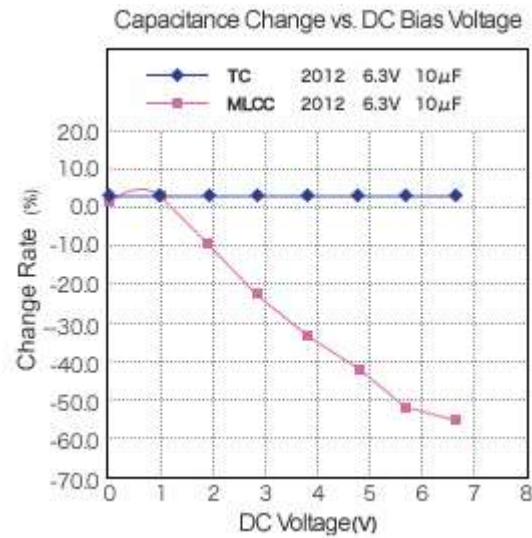
EMC testlerinde sizi zordurumda
bırakabilir.



Basic circuit of a step-down converter

Ceramic & Tantal Capacitors

- * Seramik kapasitörler, ESR, ESL yönünden çok iyidir ve bu yüzden çok tercih edilirler.
- * Dezavantajları : Seramik olduğu için ses üretebilir, DC bias altında büyük değer kaybı (derating) yaşatabilir. Mesela 6.3V'luk seramik kapasitör, 6.3V DC bias altında %50-70 arası değer kaybı yaşar.



Tantal kapasitörler hem değer kaybı hemde sıcaklık altında değer kaybı yönünden seramik kapasitörden iyidir ama ters polarizeye hiç gelemmez, AC devrelerde kullanılmaz, kısa devreye meyillidir, ölçü aleti ile kapasitesi ölçülmesi önerilmez (ters polarizasyon riskinden dolayı), over voltaja'da gelemmez aniden akımı yükselip kısadevre olabilir.

Bu nedenle Seramik ve Tantal Kapasitörlerde düşük voltajlarda 3 katı, biraz daha yüksek voltajlarda 2 katı voltaja dayanıklı seçilmelidir.