

Nøjagtig og hurtig frekvensmåling

Opgaven er designet af Henrik Haastrup, Senior Software Designer, R&D Platform Software, DEIF A/S, og tilrettet EEH3DSB-kurset af Kristian Lomholdt

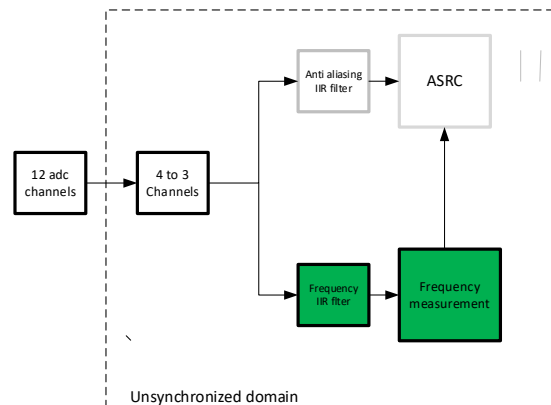
1 Baggrund

En central komponent i en Genset¹ controller er en frekvensmåler som skal være robust og nøjagtig. Den sidder ofte i et støjfyldt miljø med mange harmoniske overtoner på nettet. Støj og specielt de harmoniske overtoner kan være stærkt forstyrrende for frekvensmålingen. Teknikken vi anvender til at opnå en hurtig frekvensmåling kaldes "zero-crossing", hvor vi bestemmer tiden mellem to nulgennemgange, og dermed periodetiden og frekvensen. For at kunne dette er det nødvendigt at filtrere inputsignalet så alle harmoniske fjernes.



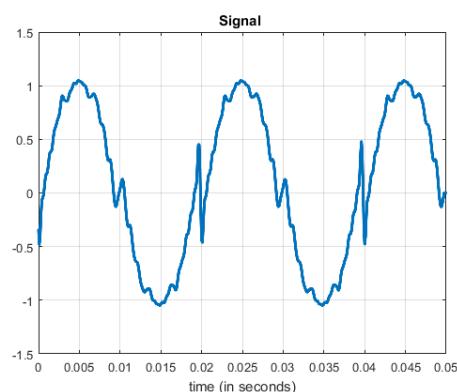
Figur 1: Genset controller.

<https://www.deif.com/products/agc-150>



Figur 2: Internt i genset controller; lavpasfilter og frekvensmåler

Figur 1 og Figur 2 viser genset controlleren og de interne komponenter (med grøn markering) IIR filter, der bruges til at dæmpe harmoniske, og frekvensmåleren, der anvender zero-crossing.



Figur 3: Eksempel på signal med harmoniske

¹ Genset: Kombination af en motor (f.eks. en dieselmotor) og en elektrisk generator

På Figur 3 ovenfor ses et eksempel på et støjfyldt signal med harmoniske, hvor nulgennemgangen ikke er entydig, hvorfor nøjagtig frekvensmåling bliver problematisk.

2 Formål

Design og test en nøjagtig og hurtig frekvensmåler i Matlab. Herunder design og analyse af 2. ordens IIR lavpasfilter, frekvensanalyse med DFT, "zero crossing" og interpolation.

3 Opgaven

Datafilen "signal_IEC60255_50_1111Hz.mat" indeholder simulerede testsignaler, `signal.x1` og `signal.x2`. Signal `x1` er et rent sinussignal og signal `x2` er et signal med 40 harmoniske overtoner, der er baseret på IEC 60255-181 2019 standarden. Begge har grundfrekvensen 50,1111 Hz, og det er denne frekvens, som i skal finde. Afvigelsen må maksimalt være ± 10 mHz. Samplingsfrekvensen er 10 kHz.

OBS: Opgaverne nedenfor udføres for begge testsignaler.

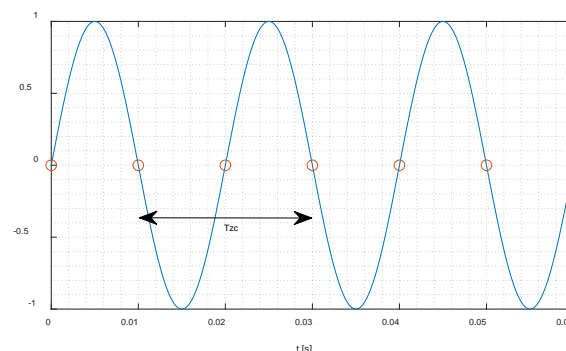
3.1 Tids- og frekvensanalyse

Plot signalet i tidsdomænet med korrekt tidsakse. I skal vise signalet i intervallet 0 – 55 ms.

Beregn DFT og plot amplitudespektret for signalet med korrekt frekvensakse og amplitude i dB. Vis kun den meningsfulde del af spektret. Beskriv de harmoniske frekvenskomponenter i signalet. Hvor stor er frekvensopløsningen? Hvor mange samples skal i bruge i DFT-analysen for at opfylde kravet om maksimal afvigelse?

3.2 Hurtig frekvensestimering med zero crossing

For at få en hurtig estimering af frekvensen, gerne en måling efter hver periodetid af signalet ($1/50 \text{ Hz} = 20 \text{ ms}$), kan vi bruge en metode der kaldes zero crossing, hvor man bestemmer tiden mellem to nulgennemgange. En nulgennemgang findes, hvor signalet skifter fra positiv til negativ (eller vice versa).



Figur 4: Nulgennemgange og periodetid for signalet

3.2.1 Filtrering

Vi kan bruge et lavpasfilter til at reducere højere harmoniske og støj fra signalet. Design et 2. ordens lavpas IIR filter², der kan dæmpe frekvenser over den fundamentale frekvens³.

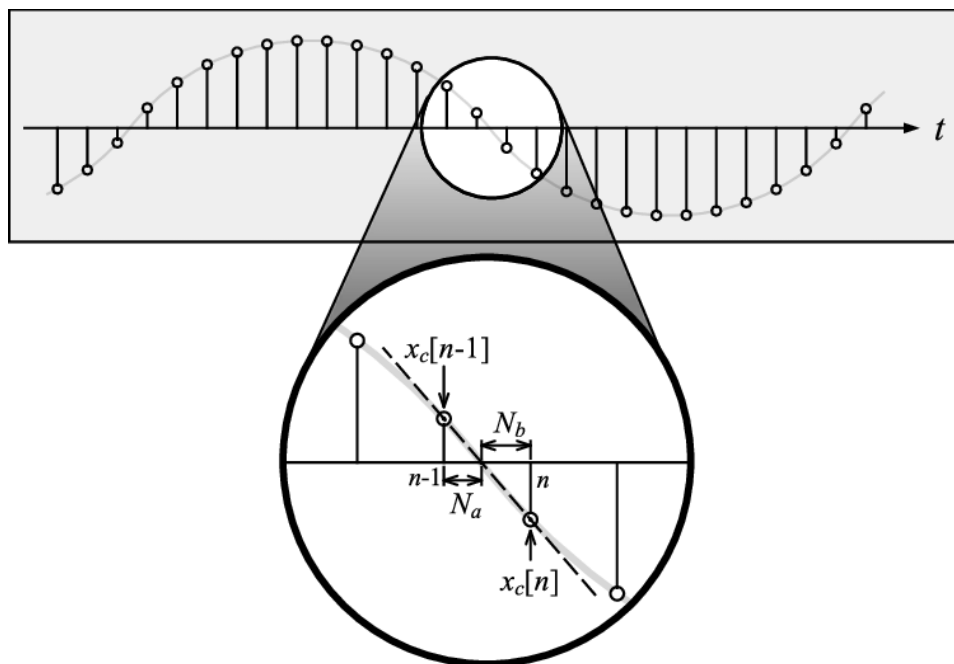
Filtrer signalet gennem filteret og sammenlign outputtet med inputtet – både i tids- og i frekvensdomænet. Bemærk at nulgennemgange nu bliver mere entydige.

3.2.2 Zero crossing algorithm

Den algoritme der er beskrevet i det følgende er baseret på [1]. Hurtig frekvensestimering af et signal sker traditionelt ved at bestemme tiden mellem to nulgennemgange, og derefter finde $f_{est} = \frac{1}{T_{zc}}$. Se Figur 4.

Hvis der for eksempel, i et digitalt frekvensestimeringssystem, hvor samples af signalet er samlet med samplingstiden T_s , er en nulgennemgang ved samplenummer⁴ N_1 og den næste nulgennemgang er ved samplenummer N_2 , så kan tiden mellem dem findes som $T_{12} = (N_2 - N_1) \cdot T_s$.

For at opfylde kravet til maksimal afvigelse i frekvens, er det nødvendigt at finde nulgennemgangene og tiden mellem dem vha. interpolation af samples, som vist på Figur 5. Her ses det, at nulgennemgangen ofte sker imellem to samples, hhv. sample nummer $n - 1$ og n . Det originale signal er sinusformet (den grå kurve) og den lineære interpolation mellem sample $x_c(n - 1)$ og $x_c(n)$ er vist med den stiplede linje. Det er nødvendigt at interpolere samples.



Figur 5: Nulgennemgang og nærmeste samples. Figuren er hentet fra [2]

² Prøv med forskellige typer: Butterworth, **Elliptisk**, Chebyshev...

³ Hos Deif kaldes dette filter "Frequency IIR Filter". Se Figur 2.

⁴ Samplenummer = sampleindeks

Der er én sampletid mellem $n - 1$ og n , svarende til T_s sekunder, og for de små delintervaller N_a og N_b gælder, at $N_a + N_b = 1 \Leftrightarrow N_a = 1 - N_b$ (1). Ved at undersøge trekantsforhold ses det, at (2):

$$\frac{x_c(n-1)}{N_a} = -\frac{x_c(n)}{N_b}$$

Hvis vi indsætter (1) i (2) får vi

$$N_a = \frac{x_c(n-1)}{x_c(n-1) - x_c(n)}$$

og

$$N_b = \frac{x_c(n)}{x_c(n) - x_c(n-1)}$$

Ved at bruge lineær interpolation kan vi nu finde en mere præcis mellem to på hinanden følgende nulgennemgange som

$$T_{12} = (N_2 + N_{a2} - (N_1 + N_{a1})) \cdot T_s$$

Implementér en frekvensestimeringsalgoritme baseret på algoritmen beskrevet ovenfor, og brug den til at bestemme frekvensen i testsignalerne. Kan i opfylde kravene til maksimal afvigelse i frekvens?

4 Litteratur

1. Ribeiro et. al. Power Systems Signal Processing for Smart Grids, Wiley 2014. Kapitel 7.4.1: Frequency Estimation Based on Zero Crossing (IEC61000-4-30)
2. Kapisch et. al. (2018). Frequency Estimation for Grid-connected Converters under Time-varying Harmonics and Inter-harmonics. 1-6. 10.1109/CAMAD.2018.8514941.