

IT Termin 5

Vinjetter i reglerteknik

1 P, I och D

Man kan reducera utsläppen från en hybridbil med hjälp av regenerativ bromsning, det vill säga att elmotorn (elmaskinen) används som generator för att ladda batteriet vid inbromsningar och i nedförsbackar. För att inte batteriet ska ta skada vid laddningen är dock bromskraften som man kan få från generatoren begränsad. Hybridbilar har därför även vanliga elektrohydrauliska bromsar där bilens rörelseenergi omvandlas till värmeenergi och därmed går förlorad.

På bilföretaget HEVCAR håller man på att utveckla en hybridbil med en avancerad farthållare som automatiskt ska ändra bilens hastighet när man passerar ett vägmärke med en hastighetsbegränsning. Hastighetsavläsningen sker med hjälp av en kamera och automatisk sifferigenkänning. Den första prototypen av farthållaren fungerade skapligt så när som på att när hastigheten väl hade blivit konstant så var den alltid lite för låg. När man försökte förbättra farthållaren fick man istället problemet att hastigheten blev alldeles för hög strax efter att man hade passerat ett vägmärke som angav en höjd hastighetsgräns.

Utvecklingsingenjörerna på HEVCAR har dessutom lite olika åsikter om vad som är den viktigaste funktionen hos farthållaren:

Åsa: Jag vill ha en bil som känns pigg och som snabbt ändrar hastighet när hastighetsgränsen ändras.

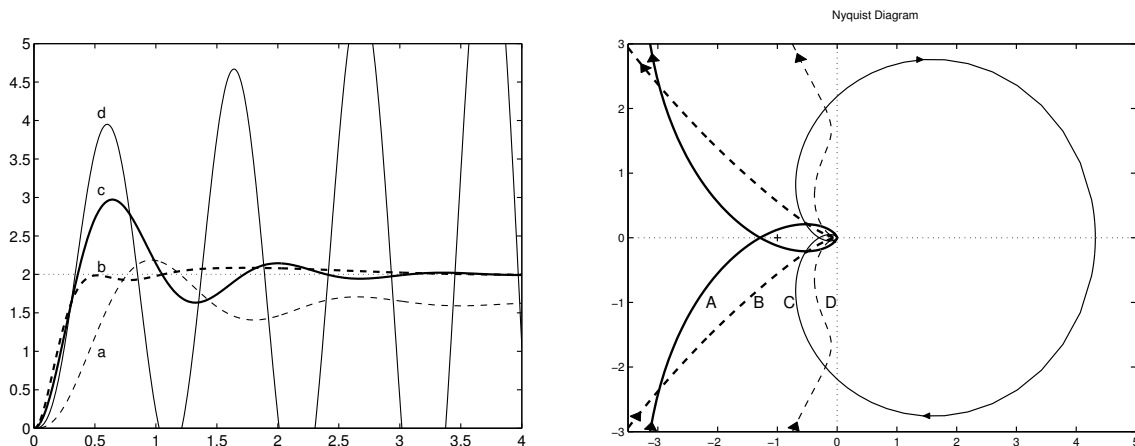
Amir: Jag vill ha en bil med så låga utsläpp som möjligt.

Sten: Jag vill ha en bil med så god komfort som möjligt.

2 Reglering av bromskraft

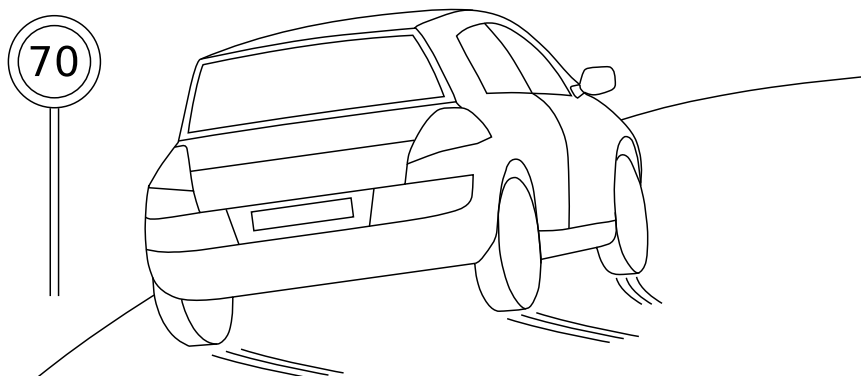
Vid en inbromsning med en hybridbil skapas bromskraften ofta både av elmaskinen (regenerativ bromsning) och de vanliga elektrohydrauliska bromsarna. När batteriet är fulladdat kan man dock inte använda elmaskinen vid inbromsningen utan hela bromskraften måste komma från de vanliga bromsarna. Eftersom de båda bromssystemen har olika karakteristik kan föraren uppleva att bilen har olika beteende i de båda fallen. Om föraren upplever att han/hon inte får den förväntade bromskraften vid ett visst tryck på bromspedalen kan det göra att han/hon stänger av den miljömässigt värdefulla regenerativa bromsfunktionen för att på så sätt få ett mer förutsägbart beteende hos bilen.

Utvecklingsingenjörerna på HEVCAR har därför bestämt sig för mäta bilens inbromsning (retardation) med en accelerometer och justera signalen till det vanliga elektrohydrauliska bromssystemet så att föraren inte upplever någon skillnad beroende på hur laddat batteriet är. Man har tagit fram några olika regulatorprototyper och testat dem när bromspedalen går från sitt nolläge till ett intryckt läge som svarar mot en retardation på 2 m/s^2 . Sten har samlat testresultaten i den vänstra figuren nedan medan Åsa och Amir har tagit fram nyquistkurvorna för kretsförstärkningarna i de fyra fallen. Dessa nyquistkurvor visas i den högra figuren nedan men tyvärr har de tre ingenjörerna inte kommit överens om vad de ska kalla de olika regulatorerna. De konstaterar dock snabbt att det inte gör något eftersom man ändå kan se vilken nyquistkurva (A-D) som hör till vilken regulator (a-d). Det oregerade bromssystemet är insignal-utsignalstabil och ingen av regulatorerna har några poler i höger halvplan.



3 Antisladdsystem för hybridbilar

Den regenerativa bromsningen används i flera olika körfall som till exempel vid manuella inbromsningar och när farthållaren begär en sänkning av bilens hastighet. Dessutom slås den automatiskt på om föraren släpper upp gaspedalen helt, till exempel när bilen åker i en brant nedförsbacke. Det finns dock tillfällen när den extra bromskraften på bilen som den regenerativa bromsningen ger upphov till inte är önskvärd. Under provkörningarna har HEVCAR:s testförare märkt att hybridbilen har lätt att få sladd i nedförsbackar på kurviga och isiga vägar.

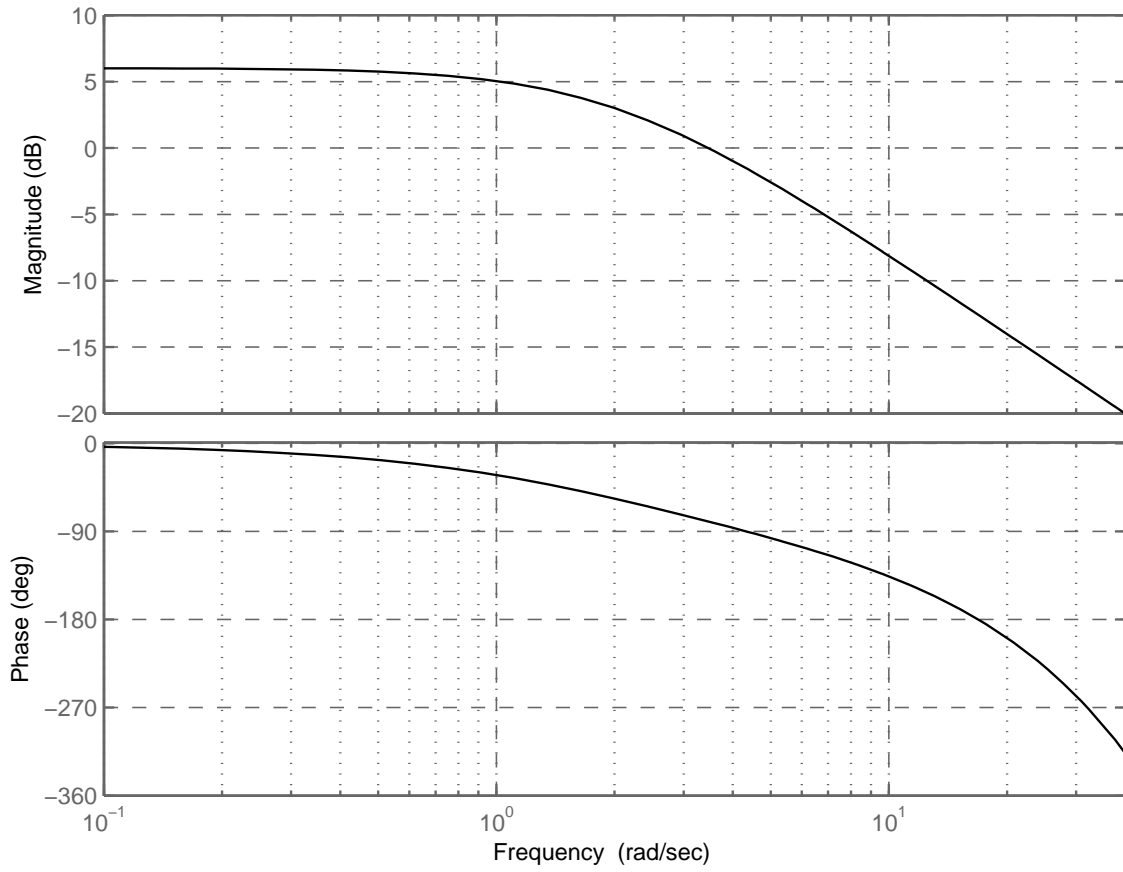


Ett sätt att komma tillrätta med problemet är att utrusta bilen med ett snabbt och noggrant antisladdsystem (eng. Electronic Stability Program (ESP)). Dessa system upptäcker automatiskt att bilen har fått sladd och bromsar då ett eller flera hjul. Bromskrafterna gör att ett moment uppstår som försöker häva sladden och se till att bilens girvinkelhastighet $\dot{\Psi}$ blir den önskade. Referensvärdet till girvinkelhastigheten tänker man hämta från en detaljerad kartdatabas som innehåller information om vägens krökningsradie. Den huvudsakliga styrningen av bilen ska förstås ske genom att framhjulen vrids på vanligt sätt så antisladdsystemet är bara ett hjälpsystem till föraren.

Eftersom den regenerativa bromsningen ställer speciella krav på antisladdsystemet kan man inte använda något av standardsystemen som finns tillgängliga på marknaden. Därför står man på HEVCAR i valet mellan att utveckla ett eget system eller att beställa ett från en underleverantör. Utvecklingsingenjörerna Amir, Sten och Åsa har mätt upp frekvensfunktionen för systemet från kommanderat moment till girvinkelhastighet (se nästa sida).

Marianne, som är teknisk chef på HEVCAR, har bestämt att man på grund av begränsade utvecklingsresurser bara har tid att utveckla ett eget antisladdsystem om det består av en enkel P-regulator. Om det krävs en mer avancerad regulator ska denna beställas från en underleverantör. I detta fall är det viktigt att specificera vilka prestanda reglersystemet ska ha. Ett, ur marknadsföringssynpunkt, viktigt krav är att hybridbilen ska klara det undanmanövertest ("älgtest") som en av de ledande branschtidningarna brukar göra med nya bilar. Man bedömer att detta är möjligt om det slutna systemet som fås med antisladdsystemet är väl dämpat och klarar att följa referenssignaler med frekvensinnehåll upp till cirka 5 Hz.

Bode Diagram

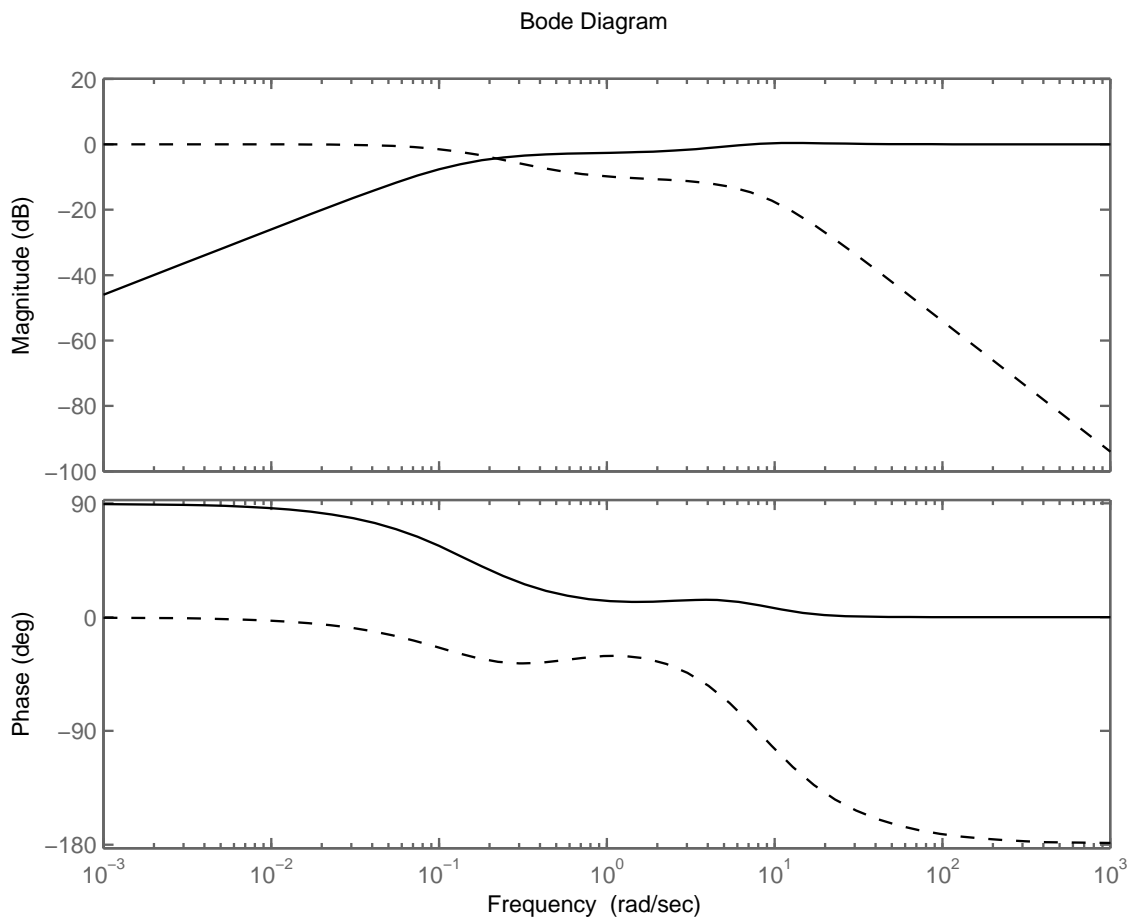


Bodediagram som visar frekvensfunktionen för systemet från kommenderat moment till girvinkelhastighet.

4 Känslighet i luft-bränsle-regleringen

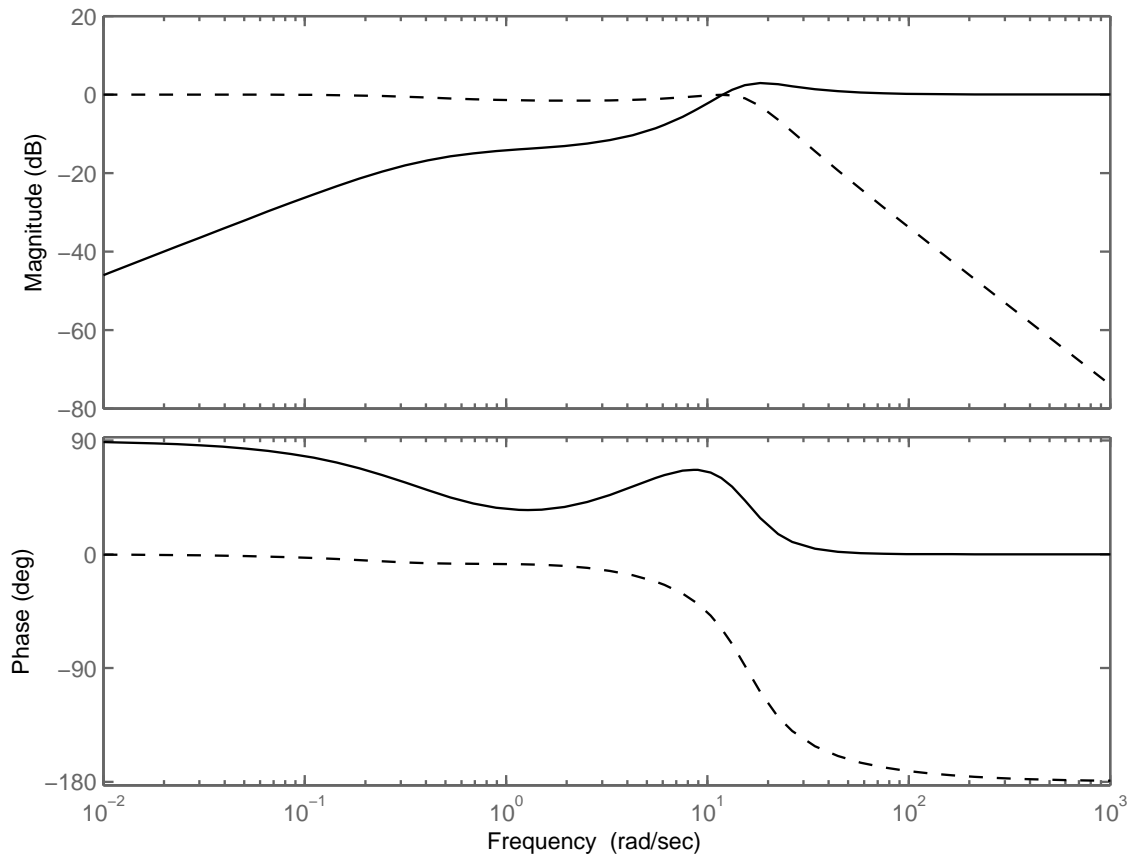
För att hybridbilen ska få en liten miljöpåverkan är det viktigt att dess förbränningsmotor är så effektiv och ren som möjligt. En nyckelteknologi i moderna bensenmotorer är luft-bränsle-regleringen. Genom att mäta syrehalten i avgaserna från motorn med en så kallad lambdasond och justera bränsletillförseln kan man hålla luft-bränsle-blandningen på ett optimalt värde. Kvoten mellan luftinflödet och bränsleinflödet till motorn kallas λ och är normerad så att $\lambda = 1$ är det värde som gör att bilens katalysator fungerar optimalt. Katalysatorn reducerar halterna av kolväten, kolmonoxid och kväveoxider i avgaserna.

På HEVCAR har man tagit fram två PI-regulatorer för luft-bränsle-regleringen i hybridbilens bensenmotor. Man har också upptäckt att det i vissa körfall kan uppstå oscillationer i luftinflödet till motorn samt att lambdasonden verkar påverkas av en del elektriska störningar från annan utrustning i bilen. Luftoscillationerna är periodiska med en vinkel-frekvens runt 1 rad/s medan de elektriska störningarna innehåller många olika frekvenser i intervallet 5 till 15 rad/s.



Bodediagram som visar känslighetsfunktionen $S(s)$ (heldragen linje) och $G_c(s)$ (streckad linje) när Regulator 1 används.

Bode Diagram



Bodediagram som visar känslighetsfunktionen $S(s)$ (heldragen linje) och $G_c(s)$ (streckad linje) när Regulator 2 används.

5 Modifierad reglering av bromskraft

Vid provkörningar med hybridbilen har man upptäckt att den avancerade farthållaren inte fungerar så bra om man kör i en lång nedförsbacke och batteriet blir fulladdat. Den regenerativa bromsningen slås då av för att batteriet inte ska ta skada och det leder till att bilen accelererar under några sekunder tills styrsystemet hinner få de vanliga elektrohydrauliska bromsarna att ställa ut den önskade bromskraften. Testförarna är överens om att det har varit mycket obehagligt att sitta i bilen när den utan förvarning har börjat accelerera i nedförsbackarna. Information om bromskraften som elmaskinen ger upphov till vid regenerativ bromsning finns tillgänglig via CAN-bussen i bilen. CAN står för *Controller Area Network* och är ett standardiserat nätverk som finns i alla bilar.

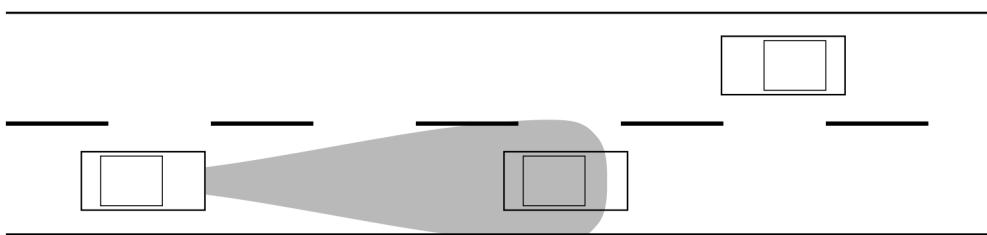
Återigen finns det delade meningar bland utvecklingsingenjörerna på HEVCAR:

Amir: Man borde basera styrningen av de vanliga bromsarna på mätningarna av elmaskinens bromskraft!

Sten: Nej, det det viktigaste är bilens verkliga retardation. Självklart ska vi fortsätta att basera styrgreppen på den!

Åsa: Jag kan inte bestämma mig . . .

6 Adaptiv farthållning



På HEVCAR vill man förbättra den avancerade farthållaren ytterligare genom att göra den adaptiv i meningen att den anpassar hastigheten om man kör ifatt en långsammare bil. Avståndet till närmsta framförvarande bil mäts med en radar. Om man kör ifatt en bil ska farthållaren automatiskt byta från konstant hastighetshållning till att hålla ett visst konstant avstånd till den framförvarande bilen. På sikt tänker man sig att detta avstånd ska kunna vara så litet att luftmotståndet minskar, vilket ger en lägre energiförbrukning. Detta kräver dock en mycket noggrann reglering så att inte säkerheten äventyras.

Utvecklingsingenjörerna på HEVCAR har försökt använda P-reglering för med kraften $u(t)$ från motorn (eller bromskraften vid en inbromsning) styra bilen så att den håller ett konstant avstånd till nästa bil. Med denna regulator har det dock visat sig svårt att få det slutna systemet tillräckligt snabbt utan att det blir oscillativt. En alternativ reglerstrategi skulle kunna vara att låta $u(t)$ beräknas som

$$u(t) = l_0 r(t) - l_1(x_1(t) - x_2(t)) - l_2(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)),$$

där $r(t)$ är det önskade avståndet mellan bilarna, $x_1(t)$ är den främre bilens position längs vägen (räknad i färdriktningen från någon fix referenspunkt), $x_2(t)$ är den bakre bilens (vår bils) position och l_0 , l_1 och l_2 är konstanter.

Ett problem med denna reglerstrategi är att man inte kan mäta $x_1(t)$ och $x_2(t)$ eller deras derivator utan bara avståndet $x_1(t) - x_2(t)$. Man vill nämligen inte vara beroende av GPS-mätningar som kanske inte alltid finns tillgängliga. Farthållaren ska till exempel även fungera i tunnlrar. Man funderar därför på att använda en observatör som är baserad på modellen

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} w(t), \\ y(t) &= \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} x(t) + v(t). \end{aligned}$$

Signalen $w(t)$ är den okända kraften från den främre bilens motor/bromsar och $v(t)$ är en störning från radarsystemet.