

FREMGANGSMÅDE TIL MINIMERING AF TORSIONSSVINGNINGERNE I EN
LANGSOMTGÅENDE 2-TAKT-STEMPELFORBRÆNDINGSMOTOR OG EN LANG-
SOMTGÅENDE 2-TAKT-STEMPELFORBRÆNDINGSMOTOR TIL UDØVELSE AF
DENNE FREMGANGSMÅDE

5

Den foreliggende opfindelse vedrører en fremgangsmåde til mi-
nimering af torsionssvingningerne i en tre- eller flercylin-
dret langsomtgående to-takts stempelforbrændingsmotor af die-
seltypen i stationær driftstilstand, hvorved motoren direkte
10 eller via et gear trækker en elektrisk generator, hvorved
endvidere torsionssvingningerne først måles på drivakslen el-
ler på en kinematisk med drivakslen forbundet aksel med en
torsionssvingnings-måleindretning, hvorefter de målte torsi-
15 onssvingninger underkastes en Fourier-analyse, og de derved
opnåede data føres til en regneenhed, som bestemmer korrekti-
onsfaktorer til brændstofindsprøjtningen. Opfindelsen vedrø-
rer ligeledes en stempelforbrændingsmotor til udøvelse af
fremgangsmåden.

20

DK patentansøgning nr. 1027/86 beskriver en fremgangsmåde
til overvågning, ved hvilken der måles torsionssvingninger,
og måleresultaterne underkastes en Fourier-analyse. De der-
af fundne data sammenlignes med referenceværdier, som udle-
25 des af en matematisk torsionssvingningsmodel. Når forudbe-
stemt værdi overskrides på grund af denne sammenligning,
genereres der et alarmsignal. Denne opfindelse tilsigter
altså kun en overvågning af stempelforbrændingsmotorens
gangregelmæssighed.

30

US patentskrift nr. 4 197 767 beskriver en fremgangsmåde
til forbedring af en stempelforbrændingsmotors gangregel-
mæssighed. Ved denne fremgangsmåde måles ligeledes torsi-
onssvingninger, som underkastes en Fourier-analyse. Dataene
35 fra Fourier-analysen tilføres så til en regneenhed, der ved
uensartetheder af drejningsmomentet i de enkelte cylindre

eller af det indicerede middeltryk i de enkelte cylindre udregner korrektionsfaktorer, som anvendes til styring af brændstofindsprøjtningen til de enkelte cylindre. Formålet med denne fremgangsmåde er altså at få samme det samme trykforløb i hver cylinder, så at hver cylinder afgiver den samme ydelse, og så der således opnås den bedst mulige regelmæssige gang for motoren.

I modsætning til de kendte fremgangsmåder skal torsionssvingninger minimeres ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen. I anlæg af den i indledningen nævnte slags, i hvilke en langsomtgående totakts-dieselmotorer (for eksempel 80-120 r/min.) driver en elektrisk generator, ligger fremkaldedefrekvensen for krumtapakslens torsionssvingninger af første og anden orden (enkel eller dobbelt drejefrekvens) i nærheden af generatorens elektriske egenfrekvens. Derved kan der indtræde det tilfælde, at amplituderne for torsionssvingninger af disse ordener dynamisk forstørres flere gange, hvorved det mekaniske akselsystem i sammenkoblet drift som helhed svinger imod det stive sammenkoblede net, hvad der for eksempel kan føre til effektpendlinger. I et selvstændigt net (Ø-drift) kan dette atter føre til lysflimmer.

Ifølge opfindelsen sker minimeringen af torsionssvingningerne ved den i indledningen nævnte fremgangsmåde derved, at korrektionsfaktorerne bestemmes i regneenheden ud fra de fundne størrelser af og fasestillingerne for torsionssvingningsamplituderne af første og anden orden og ved sammenligning med forudbestemte torsionssvingninger, som fremkaldes af de enkelte cylindre, til ændring af det indicerede cylindermiddeltryk i mindst en cylinder, men højst i to cylindre, og at der i regneenheden på grundlag af korrektionsfaktorerne bestemmes den cylinder eller de to cylindre, i hvilken henholdsvis hvilke ændringen af det indicerede middeltryk foretages ved ændring af indsprøjtningmængden

på en sådan måde, at drivakslens torsionssvingninger i det mindste af første orden minimeres.

5 Herved tages torsionssvingningerne af første og anden orden
altså i brug til bestemmelse korrektionsfaktorerne, og
brændstofindsprøjtningen ændres på højst to cylindre. Ved
den nye fremgangsmåde begrænses minimeringen af torsions-
svingningerne til sådanne af første og anden orden, og der
10 accepteres derved en vis ulighed for de enkelte cylindres
indicerede middeltryk. Derved formindskes anvendelsen af
reguleringsindgreb og opbuddet af apparater til regulering
betragteligt ved den nye fremgangsmåde. Effektsvingninger
eller lysflimmer formindskes væsentligt ved den nye frem-
gangsmåde.

15 Opfindelsen vedrører endvidere en stempelforbrændingsmotor
med kendetegnene i krav 2.

Opfindelsen bliver forklaret nærmere ved hjælp af eksemplet
20 på tegningerne. Der vises i:

fig. 1 skematisk en sekscylindret dieselmotor med direkte
drevet generator,

25 fig. 2 og 2A, 2B, 2C, hver skematisk en sekscylindret
skibsdieselmotor med sidekoblet generator for et
net ombord,

fig. 3 et poldiagram over torsionssvingningerne af første
30 orden for krumtapakslen i en sekscylindret diesel-
motor eller for en af dieselmotoren dreven aksel.

Den sekscylindrede totakts-dieselmotor 1 med overladerenhed
11 og krumtapakslen 17 driver i fig. 1 en generator 9,
35 hvorved generatorens rotor, som vist på tegningen, er mon-
teret direkte på krumtapakslens 17 forlængelse, eller ro-

torakslen kan være koblet til krumtapakslen 17. Torsions-svingningerne henholdsvis deres amplitude og vinkelstilling måles løbende med en torsionssvingningsmåler 3 ved aksel-
enden 123 og føres til en Fourier-analysator 4. I Fourier-
5 analysatoren 4 gennemføres Fourier-opdelingen af torsions-svingningerne i leddene af forskellig orden.

Først sprøjter indsprøjtningspumper 61, 62, 63, 64, 65, 66, som hver hører til en cylinder 161, 162, 163, 164, 165,
10 166, en forudbestemt mængde brændstof, som er indbyrdes ens, ind i cylindrene. Så snart dieselmotoren har nået den stationære driftstilstand, lukkes afbryderen 45, og Fourier-analysatorens Fourier-signaler kommer frem til en
15 indsprøjtningspumperegulering 5, som omfatter en regne-enhed, som på baggrund af leddene af første og anden orden, for eksempel ifølge krumtapstjernemetoden, som forklares ved hjælp af fig. 3, og ved sammenligning med en ønsket tilstand bestemmer:

20 1. Hvilken cylinder eller hvilke af cylindrene 161, 162, 163, 164, 165, 166, der forårsager fremkaldelsen af torsionssvingerne af disse to ordener, og

2. Hvilken korrektion af indsprøjtningsmængden i hvilken
25 cylinder eller i hvilke to cylindre, der er nødvendig for at minimere torsionssvingerne af begge ordener.

Da det ved krumtapstjernemetoden for eksempel drejer sig om en simpel tilnærmelsesmetode, sker minimeringen af torsionssvingerne iterativt, det vil sige i flere cykluser eller
30 trin. Ved hvert trin frembringes der korrektionssignaler, som føres til den pågældende indsprøjtningspumpe 61, 62, 63, 64, 65, 66. På grund af korrektionerne indstiller der sig ved dieselmotorens 1 gang en ny stationær tilstand. Når
35 denne er nået, måles og analyseres torsionssvingningerne igen i en ny styrecyklus, og på grundlag af analyseresulta-

terne frembringes der andre korrektionssignaler, og torsionssvingningerne minimeres yderligere.

5 I reglen opnås en gunstig stationær drifttilstand med minimale, ikke mere forstyrrende torsionssvingninger af første og anden orden i krumtapakslen 17 efter nogle styrecykluser af den beskrevne art.

10 Styrecyklopen strækker sig derved med fordel over varigheden af flere arbejdsacykluser (omdrejninger af krumtapakslen) for dieselmotoren 1. Derved opnås, at de stokastiske ændringer af det indicerede cylindermiddeltryk fra tænding til tænding i de enkelte cylindre 161, 162, 163, 164, 165, 166 kun påvirker torsionssvingningssignalet, der skal ud-
15 nyttes, på en måde, der kan bortses fra.

Til detektering af torsionssvingningerne egner sig for eksempel en indretning, der fås i handelen under betegnelsen "Winkelkodierer" (optical incremental encoder, type G 70
20 fra firmaet Litton). En indsprøjtningspumpe, der egner sig til ændring af indsprøjtningsmængden, er for eksempel beskrevet i DE offentliggørelsesskrift nr. 31 00 725.2-13. Fourier-analysatorer er ligeledes kendte og findes i handelen (for eksempel CAT 2515 fra firmaet Genrad).

25 Totakts-dieselmotoren 1 i fig. 2 med seks cylindre 161 til 166 trækker med krumtapakslen 17 skibsskruen 7. Den anden ende af dieselmotorens krumtapaksel 17 er gennem en kobling 18 forbundet med et udvekslingsgear 8, som trækker en hydrostatisk pumpe 81. Denne pumpe 81 er en del af et hydrostatisk gear, som sammen med en hydrostatisk motor 82 danner et lukket hydrostatisk trykmediekredsløb. Forsyningen af dette kredsløb med hydraulisk trykmedie, for eksempel olie, sker gennem en lavtrykstation 83, som indeholder et
30 trykmediereservoir, en tilbringerpumpe, en overstrømningsledning med overstrømningsventil, filter og så videre. Den
35

hydrostatisk motor 82 trækker gennem en aksel 89 en elektrisk generator 9. Akslens 89 og dermed generatorens 9 omdrejningstal overvåges med måleføleren 84, fra hvilken den målte faktiske værdi føres til en omdrejningsregulator 85, i hvilken den faktiske værdi sammenlignes med den forudbestemte ønskede værdi. Generatoren 9 afgiver den elektriske energi til skibets el-net 100. Ved afvigelser mellem faktisk og ønsket værdi ændres mængden af trykmediet, som strømmer gennem den hydrostatisk motor 82 derved, at styresignalerne føres til et indstillingsorgan i motoren 82 gennem signalledningen 86. I dette eksempel måler en torsionssvingningsmåler 3 torsionssvingningerne i generatorens 9 aksel. Bestemmelsen af korrektionssignalerne, som tilføres til indsprøjtningspumper 61, 62, 63, 64, 65, 66, sker på samme måde, som beskrevet ovenfor for anlægget i fig. 1. De af dieselmotoren 1 frembragte torsionssvingninger overføres delvis gennem det hydrostatisk kredsløb til motoren 82 og til generatorens aksel 89.

Ved det i fig. 2A viste skibsdieselanlæg trækker dieselmotorens 1 krumtapaksel 17 gennem koblingen 71 og akslen 73 den indstillelige skibsskrue 72. På den anden side af dieselmotoren trækker krumtapakslen 17 gennem et gear 91 generatoren 9, som afgiver den elektriske strøm til skibsnettet 100. Torsionssvingningerne, henholdsvis deres amplitude og vinkelstilling, måles med torsionssvingningsmåleren 3 på generatorens 9 aksel og føres løbende til Fourier-analysatoren 4. I Fourier-analysatoren 4 gennemføres Fourier-opdelingen af torsionssvingningerne i leddene af forskellig orden og derefter sker en sammenligning med forud givne ønskede værdier. Korrektionssignalerne til ændring af indsprøjtningsmængden for indsprøjtningspumperne 61, 62, 63, 64, 65, 66 bestemmes i indsprøjtningspumpe-reguleringen 5, som omfatter en regneenhed, på grundlag af leddene af første og anden orden for eksempel efter krumtapstjernemetoden, som forklares ved hjælp af fig. 3.

Ved det i fig. 2B viste skibsdieselanlæg trækker dieselmotorens 1 aksel 17 gennem koblingen 71 akslen 73 med den indstillelige skibsskrue 72. Gearet 92 er tilsluttet til
5 dieselmotorens 1 aksel som sidegear, og trækker gennem en kobling 94 generatoren 9. Generatoren 9 leverer elektrisk energi til skibsnettet 100. Også her bestemmes torsions-svingerne i generatorens 9 aksel til stadighed med torsionssvingningsmåleren 3 med hensyn til amplitude og vinkel-
10 stilling, og føres til Fourier-analysatoren 4. Også her sker opdelingen af torsionssvingningerne i leddene af forskellig orden i Fourier-analysatoren 4 og derefter sammenligningen med forud givne ønskede værdier.

15 Ved det i fig. 2C viste skibsdieselanlæg trækker dieselmotorens 1 aksel 17 gennem koblingen 71 akslen 73 med den indstillelige skibsskrue 72. I dette anlæg trækkes gearet 93 direkte af akslen 73, og trækker på sin side gennem koblingen 94 generatoren 9. Generatoren 9 leverer elektrisk
20 energi til skibsnettet 100. Igen bliver torsionssvingningernes amplitude og vinkelstilling målt løbende og ført til Fourier-analysatoren 4. I Fourier-analysatoren 4 sker Fourier-opdelingen af torsionssvingningerne i leddene af forskellig orden og derefter finder en sammenligning med
25 forud givne ønskede værdier sted. Bestemmelsen af korrektursignalerne til indsprøjtningspumperne 61, 62, 63, 64, 65, 66 kan ved anlæggene 2A, 2B, 2C ske på samme måde som beskrevet ved fig. 1.

30 Minimeringen af torsionssvingningerne i dieselmotoren 1 og også i den af dieselmotoren drevne generator 9 kræver, at dieselmotoren i det væsentlige befinder sig i en stationær drifttilstand. Dette er i almindelighed tilfældet ved skibsdieselanlæg og endnu mere ved skibsdieselanlæg med
35 indstillelig skibsskrue under længere tidsrum ved sejlads. Det hydrostatiske gear (fig. 2) eller det mekaniske gear

91, 92, 93 formår for eksempel at holde generatorens 9 rotors omdrejningstal konstant inden for visse grænser for omdrejningstallet, som det kan være tilfældet ved skibsfremdrivningsanlæg med ikke indstillelig skibsskrue. Da et
5 skib råder over flere generatorer ombord, bliver den af drivdieselmotoren trukne generator ofte kun koblet ind ved sejlads på åbent hav, hvor drivmotoren løber med et konstant omdrejningstal.

10 Det er også muligt, at sætte generatorens 9 rotor direkte på akslen 73, og dimensionere generatoren for et bestemt omdrejningstal, som svarer til dieselmotorens omdrejningstal ved vedvarende drift. Så ville gearet 93 og koblingen 94 falde bort i for eksempel et anlæg som vist i fig. 2C.
15 Torsionssvingningerne ville i dette tilfælde blive målt med torsionssvingningsmåleren 3 på akslen 73 eller krumtapakslen 17.

Ved hjælp af fig. 3 forklares krumtapstjernemetoden til bestemmelse af korrektionsfaktorerne til korrektion af indsprøjtningmængden for minimering af torsionssvingningerne af første orden. Ved krumtapstjernemetoden går man for eksempel ud fra den forenklende antagelse, at

25 - det indicerede cylindermiddeltryk for en cylinder ikke afviger mere end 5% fra den ønskede værdi,

- forstyrrelsesamplituden ændrer sig lineært med forstyrrelsen, og fasen forbliver tilnærmelsesvis den samme,

30 - den målte forstyrrelse, det vil sige en målt torsionssvingning, kan minimeres ved korrektion af det indicerede middelcylindertryk i to eller i særtilfælde i en cylinder, det vil sige, at forstyrrelsen fremkaldes af de pågældende
35 cylindre.

Motorens tændfølge antages at være 1, 6, 2, 4, 3, 5. I poldiagrammet 19 er de beregnede torsionssvingningsvektorer 191 til 196 af første orden i akslen på en sekscylindret motor indtegnet punkteret for alle seks tilfælde, hvor en af cylindrene frembringer en 5% reduktion af det indicerede cylindermiddeltryk. Disse vektorer 191 til 196 danner den såkaldte korrektionskrumtapstjerne af første orden. Enderne af disse vektorer 191 til 196 ligger på en cirkel, hvis midtpunkt M ikke ligger i poldiagrammets nulpunkt P, men er forskudt med en vektor 190. Denne vektor 190 svarer til torsionssvingningsvektoren for den ideelt, det vil sige fuldstændigt udlignede motor.

Subtraherer man fra hver af de enkelte vektorer 191 til 196 denne vektor 190, så får man den forskudte korrektionskrumtapstjerne 191' til 196'.

Denne beregnede krumtapstjerne 191' til 196' tjener nu til bestemmelse af korrektionerne af det indicerede cylindermiddeltryk i en cylinder eller to cylindre.

Bliver der nu for eksempel målt en torsionssvingning S (amplitude og fase) på akslen, og vektoren tegnes ind i den forskudte korrektionskrumtapstjerne 191' til 196', så ligger S mellem to vektorer i den forskudte korrektionskrumtapstjerne, i vort eksempel mellem vektorerne 191' og 196', eller falder sammen med retningen af en af vektorerne 191' til 196'. Opdelingen af amplitudevektoren S i de to vektorer S_1 og S_6 i retning af de to vektorer 191' og 196' i korrektionskrumtapstjernen interpreteres altså som forstyrrelsen fra de to cylindre 1 og 6. Da korrektionskrumtapstjernen baserer sig på antagelse af en mindre ydelse fra den forstyrrede cylinder, men da cylinderen også kan yde for meget, skal denne opdeling beregnes på den rigtige vektorbasis. Denne basis er et par af vektorerne 191' og 196' eller 193' og 194'. Korrektionsfaktoren for de to cylindre

i en parkombination fremgår således direkte af korrektionskrumtapstjernen.

5 I virkeligheden kan en eller flere cylindre være forstyrret. Den forenklede antagelse, at henføre hver forstyrrelse til for eksempel to cylindre, gør det i reglen nødvendigt at gennemføre minimeringen iterativt, det vil sige i flere trin. En enkelt korrektionsfaktor for kun en cylinder fremkommer, når vektoren for den målte forstyrrelse falder sammen med en af vektorerne 191' til 196'.

10

Selvom beregningen af korrektionsfaktorerne for forstyrrelserne af første orden her af hensyn til anskueligheden er forklaret ved et grafisk eksempel, er det formålstjenligt at finde korrektionsfaktorerne i indsprøjtningsspumpereguleringen 5 ved beregning, det vil sige numerisk. På analog måde kan også korrektionsfaktorerne til minimering af torsionssvingninger af anden orden bestemmes.

15

20

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåde til minimering af torsionssvingningerne i en tre- eller flercylindret langsomtgående to-takts stempelforbrændingsmotor af dieseltipe i stationær driftstilstand, hvorved motoren direkte eller via et gear driver en elektrisk generator, hvorved endvidere torsionssvingningerne først måles på drivakslen eller på en med drivakslen kinematisk forbundet aksel (12, 22) med en torsionssvingnings-måleindretning (3), hvorefter de målte torsionssvingninger underkastes en Fourier-analyse, og de derved fundne data føres til en regneenhed, som bestemmer korrektionsfaktorer til brændstofindsprøjtningen, k e n d e t e g n e t ved, at korrektionsfaktorerne bestemmes i regneenheden (5) ud fra de fundne størrelser af og fasestillingerne for torsionssvingningsamplituderne af første og anden orden og ved sammenligning med forudbestemte torsionssvingninger, som fremkaldes af de enkelte cylindre (161, 162, 163, 164, 165, 166), til ændring af det indicerede cylindermiddeltryk i mindst en cylinder, men højst i to cylindre, og at der i regneenheden på grundlag af korrektionsfaktorerne bestemmes den cylinder eller de to cylindre, i hvilken henholdsvis hvilke ændringen af det indicerede middeltryk foretages ved ændring af indsprøjtningsmængden på en sådan måde, at drivakslens torsionssvingninger i det mindste af første orden minimeres.

2. Langsomtgående to-takts stempelforbrændingsmotor af dieseltipe med tre eller flere cylindre, der direkte eller via et gear driver en elektrisk generator, til udøvelse af fremgangsmåden ifølge krav 1 med en indretning (3) til måling af torsionssvingningerne i drivakslen eller i en med denne sammenkoblet yderligere aksel, såvel som med en Fourier-analysator (4), til hvilken torsionssvingningsmåleværdierne føres, og med en regneenhed (5) til bestemmelse af korrektionsfaktorer til påvirkning af brændstof-

indsprøjtningen, k e n d e t e g n e t ved, at regneenheden ud fra fase og amplitude for leddene i Fourier-analysen og ud fra sammenligningen med forudbestemte torsions-svingninger, som fremkaldes af cylindrene (161, 162, 163, 164, 165, 166), bestemmer korrektionsfaktorer for brændstofindsprøjtningensmængden til mindst en cylinder, men højst to cylindre, at der findes en indsprøjtningensindretning (61, 62, 63, 64, 65, 66), hvortil de til korrektionsfaktorerne svarende signaler føres, og at indsprøjtningensenheden indsprøjter den på grund af disse signaler ændrede brændstofmængde i den ene eller de to cylindre, og dermed ændrer det indicerede cylindermiddeltryk for denne cylinder henholdsvis disse cylindre.