

## Vedlegg 4b. Eksempler på omformeraggregatrespons ved endringer i belastningen i kontaktledningsanlegget.

### Innledning:

De roterende omformeraggregatenes dynamiske egenskaper er i det etterfølgende illustrert på basis av datamaskinsimuleringer av responsen til et 5,8 MVA roterende omformeraggregat som på enfasesiden forsyner toget uten å samkjøre med andre omformeraggregater. Toget er simulert å ha spenningsuavhengig effekt. Nærmere beskrivelse av simuleringsmodellen, inngangsdata, osv., er gitt i vedlegg 4c.

### Definisjoner:

#### Benyttede forkortelser:

- U 60km: Spenning på strømvaktaker for tog 60 km fra omformerstasjon når kontaktledningen har resistans 0,18 ohm/km og induktiv reaktans 0,19 ohm/km (16 2/3 Hz)
- PA 60 km Vinkel for spenningen på strømvaktaker for tog 60 km fra omformerstasjon når kontaktledningen har resistans 0,18 ohm/km og induktiv reaktans 0,19 ohm/km (16 2/3 Hz). Vinkelen er relativt omformerstasjonens 50 Hz forsyning.

Figur 4b.1 viser aggregatets frekvensresponskarakteristikk for aktiv effekt mellom 1-fase siden og 3-fase siden i frekvensområdet 0 - 5 Hz, dvs. den dynamiske, elektromekaniske sammenhengen mellom en forstyrrelse i enfase-effekten (forstyrrelsen), ?P1, og responsen i trefase-effekten (responsen), ?P3, for aggregatet. Det er forutsatt at forstyrrelsen, ?P1, er sinusformet.

## Annex 4b. Examples of converter unit response to changes in the catenary load.

### Introduction:

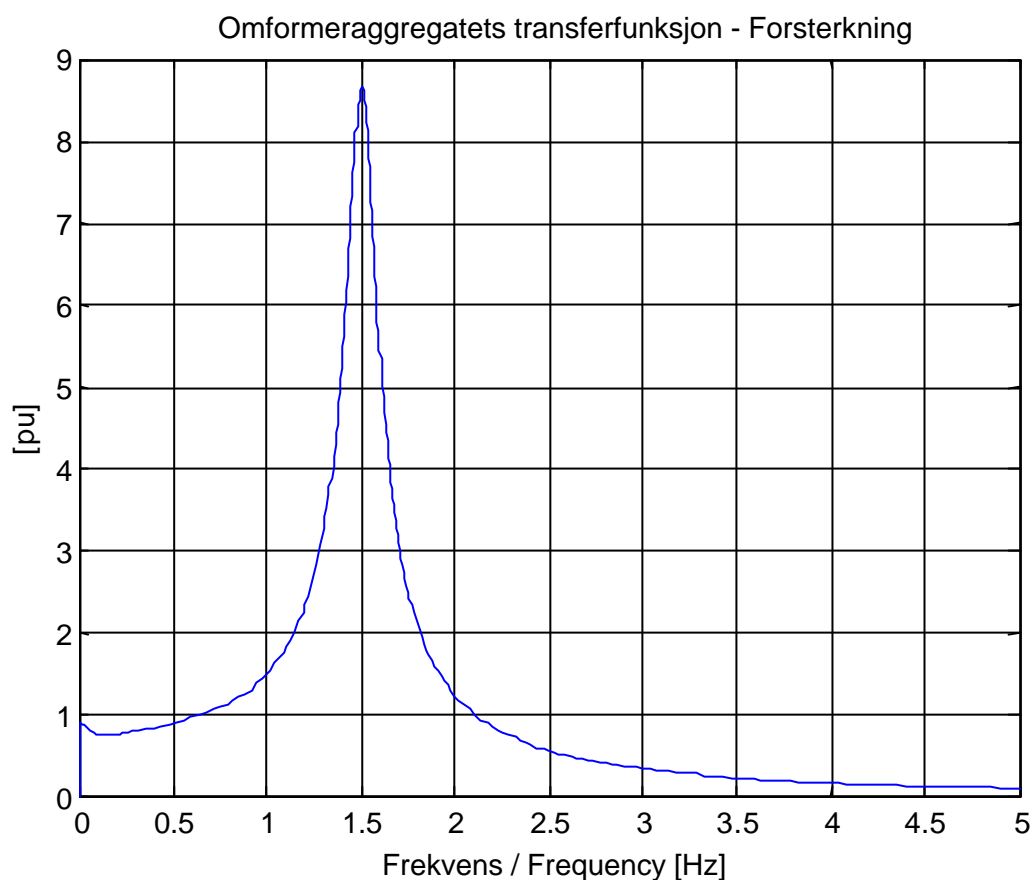
The dynamic behaviour of rotating converter units is in the following text illustrated by computer simulations for a 5.8 MVA rotating converter unit which on the single-phase side supplies the train without interconnection with other converter units. The train is simulated with voltage independent power consumption. Further description of the simulation model, input data etc. is given in annex 4c.

### Definitions:

#### Abbreviations used:

- U 60km: Pantograph voltage 60km from the converter station when catenary has resistance 0.18 ohm/km and inductive reactance 0.19 ohm/km (16 2/3 Hz)
- PA 60km: Angle of pantograph voltage 60km from the converter station when catenary has resistance 0.18 ohm/km and inductive reactance 0.19 ohm/km (16 2/3 Hz). Phase angle is relative to the 50 Hz power supply of the converter station.

Figure 4b.1 shows the converter unit's frequency response characteristics for active power between the single-phase and the 3-phase side in the 0 – 5 Hz frequency band. I.e. the dynamic, electromechanical connection between a single-phase power disturbance ?P1 and the response in 3-phase power ?P3 for the converter unit. It is assumed that the disturbance is sine shaped.



Figur 4b.1

Figur 4b.1.  
Eksempel på omformeraggregatets  
frekvensresponskarakteristikk,  $\frac{\Delta P_3}{\Delta P_1}$ , ved  
sinusformet endring av énfase-effekten  $\Delta P_1$

Frekvensresponskarakteristikken for dette  
aggregatet har en markert resonanstopp ved  
ca. 1,5 Hz, med forsterkning på ca. 9 pu.

De viste spenningspendlingene i figurene  
nedenfor oppstår fordi omformerrotorens  
hastighet endres når aggregatets polhjulsvinkel,  
dvs. omformertororens posisjon relativt stabilt  
faseleie pendler.

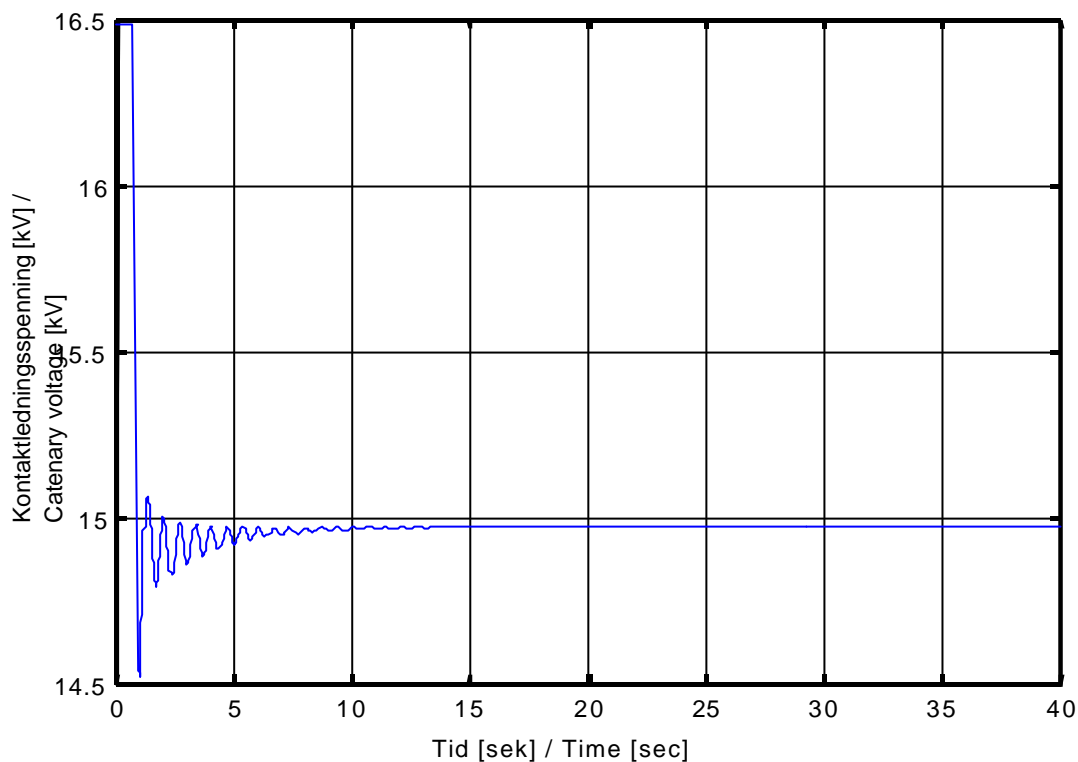
Figure 4b.1  
Example of the converter unit's frequency  
response characteristic,  $\frac{\Delta P_3}{\Delta P_1}$ , for sine  
shaped change in single-phase power  $\Delta P_1$ .

The frequency response characteristic for this  
converter unit has a distinctive resonance crest  
at approximately 1.5 Hz with an amplification of  
9 pu.

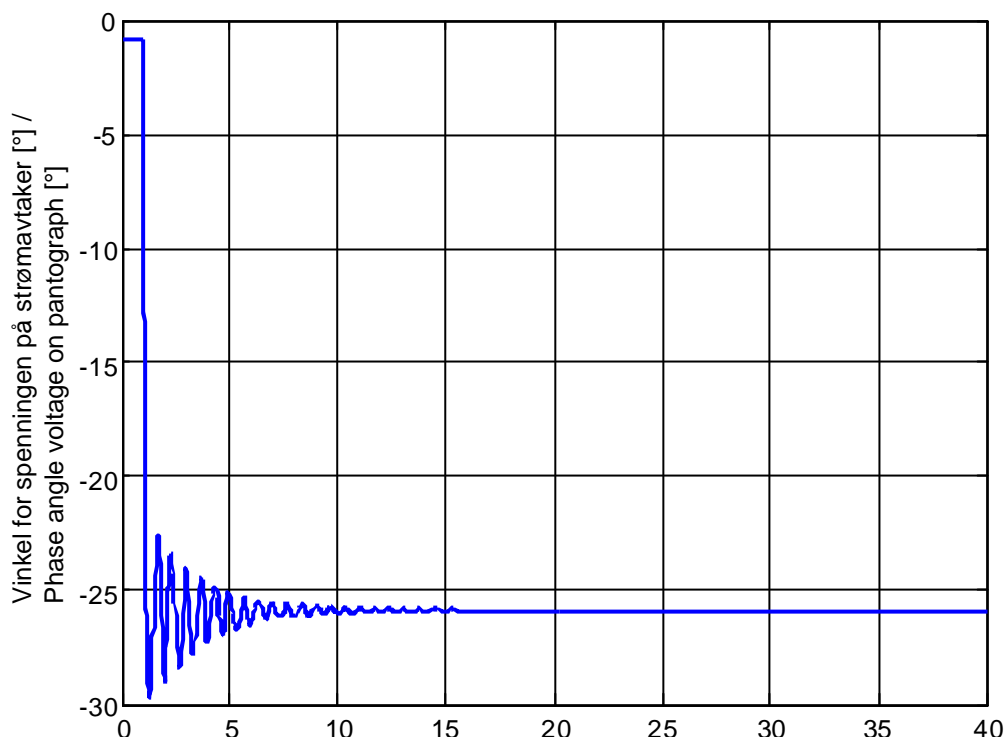
The voltage oscillations shown in the figures  
below arise due to changes in the converter  
rotor velocity when the converter's pole angle  
oscillates.

## Sprang i aktiv effekt.

## Active power steps.



Figur 4b.2: U 60km ved sprang i aktiv effekt 0 - 2,0 MW i toget.  
U 60km for active power step in the train of 0 – 2.0 MW



Figur 4b.3: PA 60km ved sprang i aktiv effekt 0 - 2,0 MW i toget.  
PA 60km for active power step in the train of 0 – 2.0 MW

Maksimal svingning (topp - bunn) varierer med effektsprangets størrelse som følger:

Effektsprang i toget:	Maks svingning	
	U 60km.	PA 60 km
0 - 3,50 MW	≈ 690 V	≈ 13°
0 - 2,00 MW	≈ 270 V (Vist i figur 4b.2)	≈ 7° (Vist i figur 4b.3)
0 - 0,25 MW	≈ 25 V	

**Kommentar:**

Sprangmessig endring av aktiv effekt forårsaker kraftig pendling i omformerrotorens posisjon (polhjulsvinkel).

Selv små effektsprang forårsaker merkbar pendling.

Det har liten betydning for pendlingens størrelse om den forårsakes av et effektsprang med lastavslag eller lastpåslag.

Maximum oscillation (top – bottom) varies with the power step size as follows:

Power step in train	Max. oscillation	
	U 60km	PA 60 km
0 – 3.50 MW	≈ 690 V	≈ 13°
0 – 2.00 MW	≈ 270 V (Shown in figure 4b.2)	≈ 7° (Shown in figure 4b.3)
0 – 0.25 MW	≈25 V	

**Comment:**

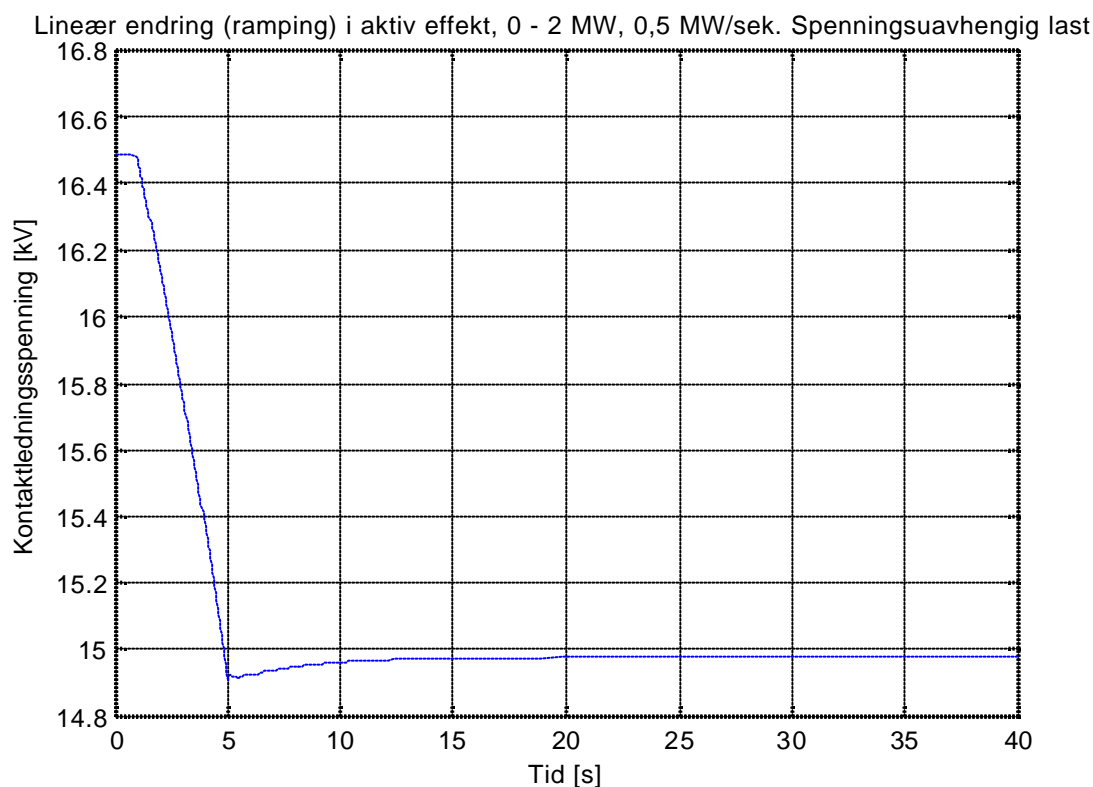
Sudden step changes in active power cause heavy oscillation in the converter rotor position (pole angle).

Even small power steps cause noticeable oscillation.

Whether the power step is caused by load decrease or load increase has little significance for the oscillation's magnitude.

### Effektendring med lineær steilhet – rampe (aktiv effekt).

### Power change of linear steepness – ramp (active power)



Figur 4b.3 U 60km ved effektpåslag 0 - 2,0 MW med lineær steilhet 0,5 MW/s.  
U 60km for increased power 0 - 2.0 MW for linear steepness of 0.5 MW/s.

Maksimal svingning (topp - bunn) varierer med effektendringens (rampens) steilhet som følger:

Maximum oscillation (top – bottom) varies with the power step (ramp) steepness as follows:

Effektendring i tog 0 - 2,0 MW:	Maks svingning U 60km.
sprang	270 V (Vist i figur 4b.2)
1,5 MW/s lineær steilhet	14 V
0,5 MW/s lineær steilhet	5 V (Vist i figur 4b.3)

Power change in the train 0 – 2.0MW	Max. oscillation U 60km
Step	270 V (Shown in figure 4b.2)
1,5 MW/s linear steepness	14 V
0,5 MW/s linear steepness	5 V (Shown in figure 4b.3)

#### Kommentar:

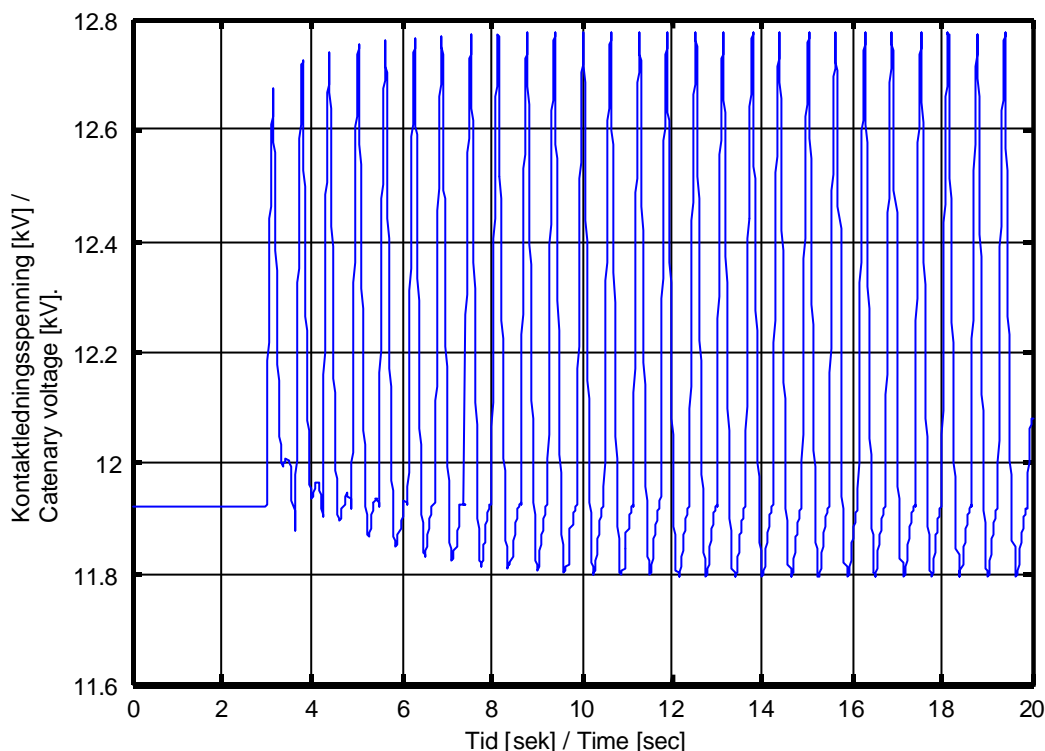
Størrelsen på pendlingen som følge av endring av aktiv effekt avtar kraftig når effektendringen skjer som en rampe med begrenset steilhet. Det har liten betydning for pendlingen størrelse om den forårsakes av et lastavslag eller lastpåslag.

#### Comment:

The oscillation magnitude due to change in active power decreases significantly when the power change take place as a ramp of limited steepness. Whether the oscillation is caused by load decrease or load increase has little significance for the oscillation's magnitude.

Repeterende endring i aktiv effekt.

Repetitive changes in active power



Figur 4b.4

Figur 4b.4 viser U 60km for et tog som innledningsvis bruker 4,0 MW og deretter en skjev sagtannet endring av belastning med maksimalt ugunstig frekvens (1,6 Hz) og flankesteilheter, henholdsvis - 1,5 MW/s og + 0,5 MW/s. Repeterende effektendring i hver sagtannperiode er 234,375 kW med 4,0 MW som maks effekt.

Figure 4b.4 shows U 60km for a train that in the beginning consume 4.0 MW and then an unsymmetrical saw-tooth shaped change in load with maximum unfavourable frequency (1.6 Hz) and flank steepness of -1.5 MW/s and + 0.5 MW/s respectively. Repeating power change in each saw-tooth period is 234.375 kW with 4.0 MW as maximum power.

Maksimal svingning i kontaktledningsspenningen (topp – bunn) blir som følger:

Maximum oscillation in catenary voltage (top – bottom) is as follows:

Periodisk effektendring 1,6 Hz:	Maks svingning U 60km.
234,375 kW	990 V Vist i figur 4b.4

Periodic power change 1.6 Hz:	Max. oscillation U 60km
234.375 kW	990 V Shown in figure 4b.4

En repeterende symmetrisk endring av belastningen med samme effektendring i hver sagtannperiode vil til sammenlikning få flankesteilhet + og - 0,75 MW/s, og forårsake vel 5 % større pendling i kontaktledningsspenningen.

Comparatively, a repetitive symmetric load change having the same change in each saw-tooth will have flank steepness of +0.75 MW/s and -0.75 MW/s and cause about 5 % larger oscillation in the catenary voltage.

*Kommentar:*

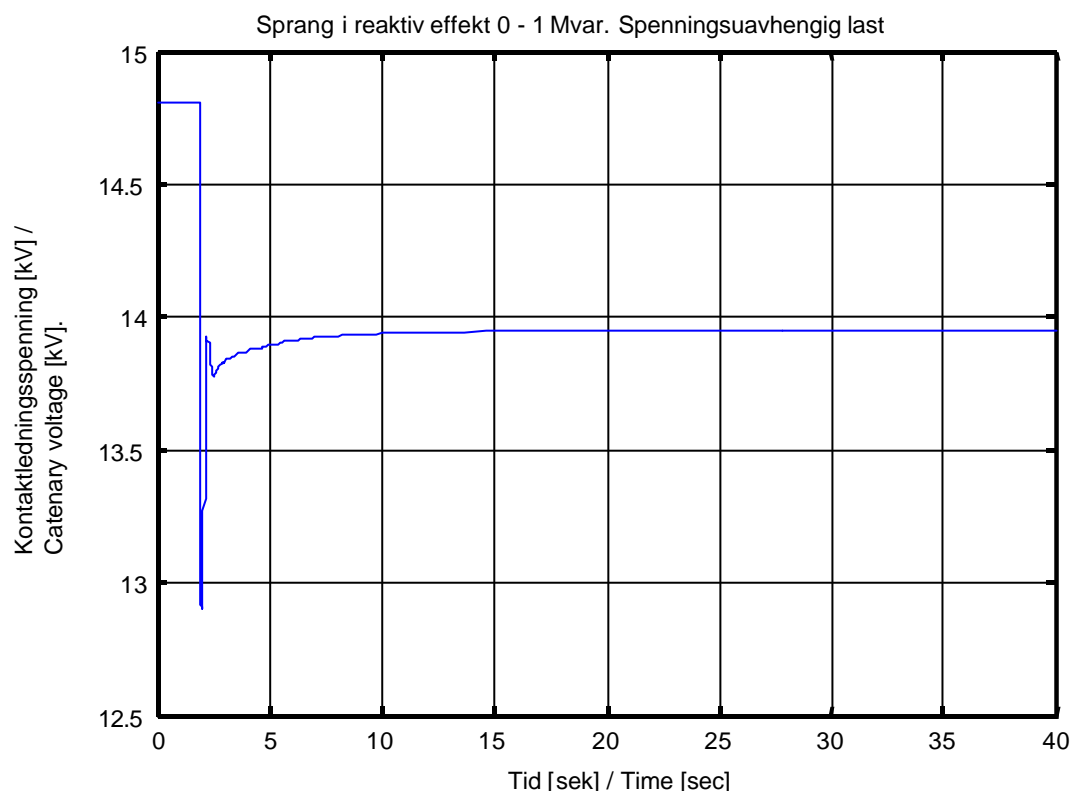
Selv små effektendringer vil etter få svingeperioder resultere i betydelig pendling dersom de repeteres med ugunstig frekvens. Dersom det er teknisk ønskelig å kunne tillate repeterende raske effektendringer i én effektretning (f.eks. effektavslag ved aktivering av slire- eller glidevern) kan omformerrotorens pendlinger i noen grad begrenses ved å implementere en strengere restriksjon for effektendring i motsatt retning.

*Comment:*

Even small power changes will after a few oscillation periods cause considerable oscillation if they are repeated at an unfavourable frequency. If being able to allow rapid repeating power changes in one power direction (e.g. power reduction when activating wheel skid or glide protection) is technically desirable, the converter rotor oscillation can to some extent be limited by implementing stricter restrictions for power changes in the opposite direction.

**Endring i reaktiv effekt.**

**Reactive power changes**



Figur 4b.6 viser U 60km for en omformer med 2,0 MW forbelastning og spenningsuavhengig last ved sprang 0 - 1,0 Mvar induktiv effekt.

Figure 4b.6 shows U 60km for a converter having 2.0 MW pre-load and voltage independent load for steps of 0 – 1.0 Mvar inductive power.

Maksimal avvik i kontaktledningsspenning blir:

Maximum deviation in catenary voltage will be:

Sprang i reaktiv effekt:	Transient reduksjon U 60km:
0 - 1,0 Mvar	ca. 1000 V (Vist i fig 4b.6)

Reactive power step:	Trancient reduction U 60km
0 - 1,0 Mvar	ca. 1000 V (Shown in figure 4b.6)

*Kommentar:*

Sprang i reaktiv effekt isolert sett forårsaker kun

*Comment:*

Steps in reactive power in themselves cause only

marginale pendlinger i aggregatets polhjulsvinkel. Grunnet omformeraggregatets og kontaktledningsanleggets induktans oppstår imidlertid initielt et kraftig avvik i kontaktledningsspenningen. Indirekte kan sprang i reaktiv effekt forårsake noe pendling på grunn av resulterende endringer i de aktive tapene i systemet.

Sprangmessige avslag av reaktiv effekt vil også gi kraftige forbigående avvik i kontaktledningsspenningen, men da med spenningsstigning i stedet for spenningsfall.

marginal oscillation in the converter unit's pole angle. However, due to converter unit and catenary inductance, a big initial catenary voltage variation occurs. Indirectly, steps in reactive power may cause some oscillation due to the resulting changes to active losses in the system. Step reductions of reactive power will also cause brief powerful variations in catenary voltage, but causing the voltage to rise rather than drop.