


GARDERMOBANEN

KAPASITETSVURDERINGER

STRØMFORSYNING

KAPASITETSVURDERING - OMFORMERSTASJONER

							NSB GARDERMOBANEN A/S			
							Leverandør NSB Bane Ingeniørtjenesten			
							Kontrakt nr. 00487		Volum nr. 1	
							Delanlegg Omformerstasjoner		Arkivkode 92/7569 B 731	
							Tittel Kapasitetsvurderinger - omformerstasjoner			
1/2-94	1 C		PCB	SL	ZK					
Dato	Versj.	Endringer	Forf.	Kon.	Godkj.	Godkj NSB- GMB	Dokument nr.		Sider 31	Versjon 1.0
			Leverandør							

SAMMENDRAG

Etablering av høyhastighetsjernbane mellom Oslo S og Gardermoen vil medføre et økt effektuttak fra strømforsyningsanleggene. Det er derfor nødvendig å vurdere behov for eventuelle forsterkningstiltak i anleggene.

Sentrale hensyn i vurderingen er:

- * Tilfredstillende kontaktledningsspenning til å forsyne togene over hele nettet.
- * Tilstrekkelig kapasitet i matestasjonene til å dekke lasten.
- * Mulighet for å opprettholde driften selv om deler av anlegget er bortkoblet, for eksempel ved feil eller vedlikehold.

Det forutsettes her at Gardermobanen elektrifiseres med 15 kV, 16% Hz kontaktledningsspenning og at strømforsyningen bygges sammenkoblet med dagens strømforsyning. Tilkoblingspunkter til dagens strømforsyningsanlegg vil minst være koblingshuset på Oslo S og Lillestrøm omformerstasjon. Videre bør Gardermobanen kobles sammen med eksisterende kontaktledning ved Eidsvoll. Denne utredningen er basert på den nye banen mellom Oslo S og Gardermoen, med mating fra de eksisterende omformerstasjonene, dvs. Asker, Holmlia, Alnabru, Tangen, Lillestrøm, Ski, Lunner/Hønefoss og eventuelt med en tilleggsrating mellom de eksisterende matepunktene fra en ny omformerstasjon. Kongsvinger omformerstasjon vil ikke mate noe effekt av betydning forbi Lillestrøm omformerstasjon, og er av den grunn ikke tatt med i beregningene. Fremgangsmåten som er benyttet i denne rapporten har vært å måle dagens strømforbruk i matestasjonene, beregne tilleggsbelastningen fra trafikken på Gardermobanen og deretter summere disse verdiene. Summasjonen gir ett anslag på den totale belastningen i omformerstasjonene, når Gardermobanen er satt i drift.

Ved beregning av tilleggsbelastningen fra den nye Gardermobanen er det tatt utgangspunkt i en høylastperiode, dvs. ved rush-trafikk. Det er ikke tatt hensyn til en økning i trafikken på andre banestrekninger enn den nye Gardermobanen. Det er forutsatt at aktuelle tog på strekningen Oslo S - Gardermoen i rush-perioden er flyplassstog eller lokaltog av type 69 med 3 vogner. Det er i denne utredningen ikke sett på belastningen av de ulike enkeltkomponenter i kontaktlednings-systemet.

Beregningstilfeller

Det er utført kapasitetsberegninger for 6 forskjellige alternativer, som beskrevet nedenfor. Alternativene beskriver hva som kommer i tillegg til det eksisterende strømforsyningssystemet, (se vedlegg 14 for eksisterende strømforsyningssystem). I beregningene er det tatt som utgangspunkt at Gardermobanen, i en overgangsperiode, kun går til Gardermoen. For de 6 forskjellige alternativene, er det utført beregninger for overgangstilfellet. I tillegg er det for alt. 5 utført beregninger med dobbeltspor også mellom Gardermoen og Eidsvoll.

Alt. 1

Koblingshus på Jessheim og ny omformerstasjon på Gardermoen.
Omformerstasjonen er plassert 47.5 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2*14MVA.

Alt. 2

Ny omformerstasjon på Gardermoen, uten koblingshus på Jessheim, men med matelinje fra Gardermoen til Eidsvoll. Omformerstasjonen har samme plassering og størrelse som under alt. 1.

Alt. 3

Koblingshus på Jessheim og ny omformerstasjon på Eidsvoll,
Omformerstasjonen er plassert 67.5 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2*14MVA

Alt. 4

Omformerstasjon på Eidsvoll, uten koblingshus på Jessheim, men med matelinje fra Eidsvoll til Gardermoen. Dobbeltsporet til Gardermoen er koblet sammen på Gardermoen.
Omformerstasjonen har samme plassering og størrelse som under alt. 3.

Alt. 5

Omformerstasjon på Jessheim.
Omformerstasjonen er plassert 44.6 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2 * 14 MVA.

Alt. 6

Kun koblingshus på Jessheim i tillegg til eksisterende omformerstasjoner.

Resultatene fra beregningene viser at:

- Generelt for alle alternativene har Lillestrøm omformerstasjon en sentral plassering både med tanke på Gardermotrafikken og trafikken i Oslo området. Med nytt dobbeltspor mellom Lillestrøm og Oslo S, vil Lillestrøm omformerstasjon forsyne en større prosentdel av trafikken i Oslo området, det vil si at effekt som ellers ville blitt levert av andre omformerstasjoner i stedet leveres av Lillestrøm omformerstasjon. I tillegg forsyner Lillestrøm omformerstasjon en stor del av trafikken på Gardermobanen. Impedansen mellom Lillestrøm omformerstasjon og Oslo S vil med to nye dobbeltspor, tilnærmet halveres.
- Alternativ 5 er den løsningen som vil gi den største avlastningen av Lillestrøm omformerstasjon. I overgangstilfellet, når Gardermobanen kun går til Gardermoen, gir alt. 5 en bedre spenning på Gardermoen enn alt. 3 og 4.
- I overgangstilfellet, gir alt. 5 en bedre spenningsprofil på strekningen Lillestrøm-Tangen enn alt. 1 og 2. Med dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll gir alt. 1 og alt. 5 tilnærmet samme spenningsforhold på strekningen Jessheim-Tangen.
- Med ny omformerstasjon på Jessheim, (alt. 5) og dobbeltspor fra Gardermoen til Eidsvoll er det i hovedsak Tangen og Jessheim omformerstasjoner som forsyner trafikken på parsellen Gardermoen-Eidsvoll. I en normal driftssituasjon medfører ikke ekstrabelastningen kapasitetsproblemer i Tangen eller Jessheim omformerstasjon.
- Alternativ 3 er den løsningen som gir best spenningsprofil på strekningen Lillestrøm-Tangen. Alternativ 3 er den løsningen som avlaste Lillestrøm omformerstasjon minst for trafikken på den nye Gardermobanen.
- Alternativ 6 er den løsningen som gir størst omformerstasjon på Lillestrøm. En stor omformerstasjon på Lillestrøm vil forsyne en stor del av trafikken. Det resulterer i store ringvirkninger, dersom omformerstasjonen faller ut.
- Gardermobanen vil ikke gi større spenningsfall på hovedsamleskinnen i koblingshuset på Oslo S. Det tilsier at det vil bli små forandringer i toppbelastningen i Asker og Holmlia omformerstasjon, etter at Gardermobanen er satt i drift. Både Holmlia og Asker omformerstasjon vil forsyne Gardermobanen, men Lillestrøm omformerstasjon vil overta en tilsvarende effekt fra den effekten Holmlia og Asker omformerstasjon mater til Oslo området i dag.
- Dersom Alnabru omformerstasjon faller ut, er det hovedsaklig Holmlia og Lillestrøm omformerstasjon som overtar lasten. Holmlia omformerstasjon har kapasitet nok til alene å kunne overta lasten. Det forutsetter en ideell lastfordeling mellom aggregatene i Holmlia omformerstasjon. Med den opprinnelige bestykningen i Asker omformerstasjon, (2 * 10 MVA+ 5.8 MVA) har også denne omformerstasjonen nok kapasitet til alene å kunne overta lasten fra Alnabru omformerstasjon. En statisk omformerstasjon avlaste seg selv ved å senke spenningen. Lillestrøm omformerstasjon faller derfor ikke ut ved overlaster. Ved utfall av Alnabru omformer er det derfor mulig å opprettholde den planlagte trafikken.

- Ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon, vil utmatet spenning synke. Som en følge av redusert spenning, overfører Holmlia omformerstasjon last til nabostasjonene. Innstillingen av regulatoren bestemmer spenningsfallet i utmatet spenning. Spenningsfallet må være tilstrekkelig til at det siste aggregatet blir liggende inne. Det er i hovedsak de omformerstasjonene som elektrisk ligger nærmest Holmlia omformerstasjon, som overtar lasten. I Oslo området er det kapasitet nok til å overta effektbortfallet. Kapasitetsbehovet lenger sørover på Østfoldbanen er ikke vurdert i denne rapporten.
- Ved utfall av ett aggregat, har ikke Tangen omformerstasjon samme mulighet til å overføre lasten til nabostasjonene, som omformerstasjonene i Oslo området. Omformerstasjonene langs Hovedbanen er plassert med en større innbyrdes avstand enn omformerstasjonene i Oslo området. Så lenge Rudshøgda omformerstasjon er i drift og etter at det er etablert 3 spor sørover fra Eidsvoll, vil Tangen omformerstasjon ha forbedret samkjøring og større muligheter for avlastning via spenningsreduksjon. I overgangstilfellet og uten Rudshøgda omformerstasjon i drift, vil bortfall av et aggregat i Tangen omformerstasjon i en topplastperiode sannsynligvis føre til forstyrrelser i trafikken.
- Et koblingshus på Jessheim, (evt. omformerstasjon), gir en bedre spenningsprofil på strekningen Lillestrøm-Tangen, enn med dagens infrastruktur. Koblingshuset gir også bedre selektivitet i kontaktledningssystemet, med mulighet for automatisk oppdeling av nettet.
- Etter at Gardermobanen er satt i drift vil Holmlia omformerstasjon få en toppbelastning tilnærmet lik 60 % av av den effektverdien omformerstasjonen maksimalt tåler i 2 sekunder, (2 sek. verdien). Med et ekstra aggregat i Asker omformerstasjon på 5.8 MVA i forhold til dagens bestykning, vil Asker omformerstasjon få en toppbelastning tilnærmet lik 60 % av 2 sek. verdien. Tangen omformerstasjon vil få en toppbelastning tilnærmet lik 65 % av 2 sek. verdien
- Løsningen som er beskrevet i alt. 5, gir en effektiv samkjøring mellom Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon. Dersom en omformerstasjon når strømgrensen vil den kunne overføre lasten til den nærliggende omformerstasjonen ved å senke spenningen. Kapasiteten i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjoner vil med en effektiv samkjøring gi muligheter til en ytterligere trafikkøkning. Det kan være trafikkøkning på enten Gardermobanen eller på de eksisterende strekningene.

Med hensyn på redundansen i strømforsyningssystemet er det en fordel med flere mindre omformerstasjoner og kortere innbyrdes avstand, i forhold til større omformerstasjoner med lenger innbyrdes avstand. Dette fordi en ved utfall av store stasjoner med lang innbyrdes avstand lettere får så lav spenning at vern i tog og kontaktledning løser ut (det vil si at trafikk-avviklingen bryter sammen). Driftserfaringer tilsier at utfall av hele omformerstasjoner er meget sjeldne. Dagens strømforsyning ved NSB er stort sett ikke bygget med tanke på at trafikken skal kunne opprettholdes dersom hele omformerstasjoner faller ut.

For å tilfredstille krav til forsterkning av strømforsyningen på grunn av Gardermobanen, synes det mest hensiktsmessig å bygge en ny omformerstasjon på Lillestrøm på 3*14 MVA og en omformerstasjon på Jessheim på 2*14 MVA. Dette gir tilstrekkelig kapasitet på strekningen. Det bør bygges et koblingshus på Eidsvoll slik at kontaktledningen på den nye Gardermobanen kobles sammen med kontaktledningen på Hovedbanen. Beregningene viser at denne løsningen gir tilfredstillende spenning på hele strekningen, både under overgangstilfellet der Gardermobanen går kun til Gardermoen og etter ferdigstilling av parsellen mellom Gardermoen og Eidsvoll.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	7
2 Fremgangsmåte	8
3 Forutsetninger	9
4 Beregningstilfeller	11
5 Tilleggsbelastning fra Gardermobanen	12
5.1 Valg av tidspunkt	12
5.2 Representasjon av togene	12
6 Lastflytberegninger	14
6.1 Representasjon av matestasjoner	14
7 Målinger	16
8 Resultater	18
8.1 Kapabilitetsvurderinger i Lillestrøm, Tangen og ny omformerstasjon.	18
8.2 Kapabilitetsvurderinger i Asker, Holmlia og Alnabru omformerstasjon	22
8.3 Gardermobanen - med dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll	24
8.4 Utfall av ett aggregat	26
8.5 Spenningsbetraktninger - strekningen Lillestrøm - Tangen	29
9 Ledig kapabilitet m.h.p en fremtidig trafikkøkning	30
10 Konklusjon	31
Kilder	
Vedlegg	

1 INNLEDNING

Etablering av høyhastighetsjernbane mellom Oslo S og Gardermoen vil medføre et økt effektuttak fra strømforsyningsanlegget. Det er derfor nødvendig å vurdere behov for eventuelle forsterkningstiltak i anlegget.

Sentrale hensyn i vurderingen er:

- * Tilfredstillende kontaktledningsspenning til å forsyne togene over hele nettet.
- * Tilstrekkelig kapasitet i matestasjonene til å dekke lasten.
- * Mulighet for å opprettholde driften selv om deler av anlegget er bortkoblet, for eksempel ved feil eller vedlikehold.

Det forutsettes her at Gardermobanen elektrifiseres med 15 kV, 16 2/3 Hz kontaktledningsspenning og at strømforsyningen bygges sammenkoblet med dagens strømforsyning. Tilkoblingspunkter til dagens strømforsyningsanlegg vil minst være koblingshuset på Oslo S og Lillestrøm omformerstasjon. Videre bør Gardermobanen kobles sammen med eksisterende kontaktledning ved Eidsvoll.

2 FREMGANGSMÅTE

Fremgangsmåten som blir benyttet i denne rapporten er å måle dagens strømforbruk i matestasjonene, beregne tilleggsbelastningen fra trafikken på Gardermobanen og deretter summere disse verdiene. Summasjonen gir ett anslag på den totale belastningen i omformerstasjonene. Med denne metoden blir nåværende ruteopplegg og togmateriell benyttet som representasjon av den eksisterende infrastrukturen, men det blir fortsatt nødvendig å velge ruteopplegg og togmateriell for trafikken på Gardermobanen. Kriteriet har vært å finne et tidspunkt med maksimalt antall tog i drift, dvs. et tidspunkt med høy belastning. Tilleggsbelastningen i omformerstasjonene fra trafikken på Gardermobanen er beregnet for dette tilfellet og summert med målte verdier.

Vedlegg 14 viser plasseringen av de eksisterende omformerstasjonene som har innvirkning på Gardermobanen.

Vedlegg 17 gir en oversikt over traseen, som er planlagt for den nye Gardermobanen.

Den målte maksimale strømverdien er summert med beregnet strømverdi fra tilleggsbelastningen på Gardermobanen. Det er antatt at målt maksimal strøm er i fase med beregnet strøm. Med hensyn på belastningen i omformerstasjonene er dette det ugunstigste tilfellet.

3 FORUTSETNINGER

Beregningene er basert på at den nye banen mellom Oslo S og Gardermoen, skal mates fra de eksisterende matestasjonene, dvs. Asker, Holmlia, Alnabru, Tangen, Lillestrøm, Ski, Lunner/Hønefoss og evt. med en tilleggsføring mellom de eksisterende matepunktene fra en ny omformerstasjon. Vedlegg 14 viser hvilke eksisterende matepunkter som er tatt med i beregningene. Alle dobbeltspor i vedlegg 14, er i beregningene slått sammen til et spor, samtidig som impedansen på disse strekningene er halvert. Det er ikke plassert ut noen trafikk på de eksisterende sporene ut fra Oslo S. Den elektriske overføringsevnen for de aktuelle strekningene blir den samme, både med dobbeltspor og et ekvivalent enkeltspor med halvert impedans. Linjene er slått sammen for å forenkle de kretsene som brukes til å beregne tilleggsbelastningen fra Gardermobanen.

Både for de eksisterende omformerstasjonene og en eventuell ny omformerstasjon, er det i overensstemmelse med nylig bestemte retningslinjer forutsatt en konstant utmatet spenning lik 16,5 kV. Unntaket er Alnabru omformerstasjon som i overensstemmelse med resultatet fra utførte målinger er representert med en fallende spenningskarakteristikk. Representasjonen av hver enkelt omformerstasjon er beskrevet i kapittel 6.1.

Ved beregning av tilleggsbelastningen fra den nye Gardermobanen er det tatt utgangspunkt i en høylastperiode, det vil si med rush-trafikken.

- * Der er ikke tatt hensyn til en økning i trafikken på andre banestrekninger enn på den nye Gardermobanen.
- * Det er tatt som utgangspunkt at det blir et overgangstilfelle med ny bane kun til Gardermoen. Økt lokaltrafikk på eksisterende bane Lillestrøm-Eidsvoll, som følge av Gardermobanen, er tatt med i beregningene.
- * Kondensatorbatteriene på Jessheim og Morskogen forutsettes utkoblet, og er ikke tatt med i beregningene. Tidligere beregninger [4] viser at det ikke er gunstig å ha bare ett kondensatorbatteri mellom 2 omformerstasjoner. Det samme vil også gjelde dersom det via nye spor mates inn effekt mellom 2 kondensatorbatterier. (Dette vil være tilfelle dersom en eventuell omformerstasjon på Jessheim lokaliseres nord for Jessheim kondensatorbatteri og/eller kontaktledningen til Gardermobanens nye spor kobles sammen med eksisterende anlegg på Eidsvoll.)
Kondensatorbatteri er bare å anbefale dersom to kondensatorbatterier plasseres mellom to omformerstasjoner, slik at de deler kontaktledningsnett mellom omformerstasjonene i tre like deler.
- * Tilleggsbelastningen fra Gardermobanen er representert med statiske laster, som forklart i kap. 5.
- * Kongsvinger omformerstasjon vil ikke mate noe betydelig effekt forbi Lillestrøm omformerstasjon, slik at denne er ikke med i beregningene.
- * Det er i denne utredningen ikke sett på belastningen av enkeltkomponenter i kontaktledningssystemet.

- * Det er ikke for noen av alternativene vurdert å parallellkoble kontaktledningen på Gardermobanen mellom omformerstasjonene og koblingshus, (se prinsippskisse for alt. 5 i vedlegg 10).
- * I alternativene med koblingshus eller omformerstasjon på Eidsvoll, er det forutsatt at sonegrensebryter på Eidsvoll fjernes.
- * I beregningene som er utført er det ikke tatt hensyn til ekstra togvarme på Gardermobanen. Forventet togvarme vil være så liten at det vil få liten betydning med tanke på dimensjoneringen av strømforsyningsanlegget.

4 BEREGNINGSTILFELLER

Tilleggsbelastningen fra trafikken på Gardermobanen er beregnet for 6 forskjellige alternativer som beskrevet nedenfor. Det er i disse alternativene tatt utgangspunkt i overgangsfasen, hvor det ikke er bygget jernbaneforbindelse mellom Gardermoen og Eidsvoll. Alternativene beskriver hva som kommer i tillegg til det eksisterende strømforsyningssystemet, (se vedlegg 14 for eksisterende strømforsyningssystem). For alt. 5 er det i tillegg utført beregninger med dobbeltspor også mellom Gardermoen og Eidsvoll.

Alt. 1

Koblingshus på Jessheim og ny omformerstasjon på Gardermoen.
Omformerstasjonen er plassert 47.5 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2 * 14 MVA

Alt. 2

Ny omformerstasjon på Gardermoen, uten koblingshus på Jessheim, men med matelinje fra Gardermoen til Eidsvoll.
Omformerstasjonen har samme plassering og størrelse som under alt. 1.

Alt. 3

Koblingshus på Jessheim og ny omformerstasjon på Eidsvoll,
Omformerstasjonen er plassert 67.5 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2 * 14 MVA

Alt. 4

Omformerstasjon på Eidsvoll, uten koblingshus på Jessheim, men med matelinje fra Gardermoen til Eidsvoll. Dobbeltsporet til Gardermoen er koblet sammen på Gardermoen.
Omformerstasjonen har samme plassering og størrelse som under alt. 3.

Alt. 5

Omformerstasjon på Jessheim.
Omformerstasjonen er plassert 44.6 km fra Oslo S og har en kapasitet på 2 * 14 MVA.

Alt. 6

Kun koblingshus på Jessheim i tillegg til eksisterende omformerstasjoner.

5 TILLEGGSBELASTNING FRA GARDERMOBANEN

5.1 Valg av tidspunkt

Da formålet er å vurdere strømforsyningsanleggets kapasitet, er det naturlig å fokusere på tidspunkter med størst belastning. Det er tatt utgangspunkt i trafikken i rush-perioden.

Flyplasstog

Det er for flyplasstogene, (se vedlegg 1 for nærmere spesifikasjon), tatt utgangspunkt i 10 min. rute, det vil si 6 tog i timen hver vei. Disse togene starter på Oslo Sentralbanestasjon og går til Gardermoen. I tillegg vil 3 flyplasstog passere Asker, stoppe på Oslo Sentralbanestasjon, før de kjører videre mot Gardermoen. Totalt vil det da gå 9 flyplasstog i timen hver vei. For å plassere ut flyplasstogene på strekningen mellom Oslo S og Gardermoen er det tatt utgangspunkt i simuleringer med NSBs kjøretidsprogram "Togkjør". Det er tatt hensyn til en hastighetsreduksjon ved Lillestrøm stasjon.

Lokaltog

I rush-perioden er det forutsatt at det på strekningen mellom Oslo S og Lillestrøm stasjon går 8 lokaltog, (se vedlegg 2 for nærmere spesifikasjon) i timen hver vei på det nye dobbeltsporet. 4 av disse togene er flyttet over fra eksisterende bane. Det er gjort målinger av strømforbruket i matestasjonene med dagens belastning. For å finne tilleggsbelastningen i strømforbruket, er det tatt utgangspunkt i antall nye lokaltog på Gardermobanen, dvs. 4 tog i timen hver vei. Etter Lillestrøm stasjon vil disse nye togene fordele seg likt mellom Kongsvingerbanen og Gardermobanen/Hovedbanen. De ekstra togene på Kongsvingerbanen er ikke tatt med i beregningene. Fra Lillestrøm stasjon til Gardermobanen/Hovedbanen, vil det være en avgang på 3 nye lokaltog i timen, (det er da antatt at grunnrute dobles i rushtiden). Disse lokaltogene vil vekse mellom å gå på den nye Gardermobanen og Hovedbanen. Kryssningene mellom ny bane og eksisterende vil foregå på Lillestrøm og Kløfta. Det er plassert ut lokaltog mellom flyplasstogene på strekningen Oslo S - Gardermoen, i tillegg til to lokaltog på Hovedbanen.

5.2 Representasjon av togene

Det er forutsatt at aktuelle tog på strekningen Oslo S - Gardermoen i rush-perioden er flyplasstog eller lokaltog av type 69 med 3 vogner, (se vedlegg 1 og 2 for teknisk representasjon).

Valg av effekt for tog og plassering

Tabell 5.1 viser den valgte togplassering og effektforbruk.
Vedlegg 1 og 2 viser hvordan togenes effektforbruk er beregnet.
Togplasseringen angir avstanden fra Oslo S.
Vedlegg 3 gir en grafisk beskrivelse av togplasseringen.

Tog nr.	Plassering [km]	Effektforbruk		Beskrivelse
		[kW]	[kVAr]	
1	2	469.6	352.2	Fart i friluft
2	7	2210	0	Fart i tunnel
3	15.5	4525	0	Akselerasjon
4	11	797.6	598.2	Fart i tunnel
5	22.5	469.6	352.2	Fart i friluft
6	30	1300	0	Fart i friluft
7	40	469.6	352.2	Fart i friluft
8	45.5	4525	0	Akselerasjon
9	2	4525	0	Akselerasjon
10	13	2210	0	Fart i tunnel
11	16.5	1129.6	847.2	Fart i tunnel + 5 ‰ stigning
12	7	1129.6	847.2	Fart i tunnel + 5 ‰ stigning
13	22.5	2730	0	Fart i friluft + 10 ‰ stigning
14	30	1133.6	850.2	Fart i friluft + 10 ‰ stigning
15	34	1300	0	Fart i friluft
16	40	801.6	601.2	Fart i friluft + 5 ‰ stigning
17	45.5	1300	0	Fart i friluft
24	32	1133.6	850.2	Fart i friluft + 10 ‰ stigning
25	52	469.6	352.2	Fart i friluft

Tabell 5.1: Effektforbruk/plassering

For flyplasztogene er det antatt en fart lik 200 km/t

For lokaltogene er det antatt en fart lik 130 km/t.

Tog nr. 1 til 8 kjører på ny bane fra Gardermoen til Oslo S.

Tog nr. 9 til 17 kjører på ny bane fra Oslo S til Gardermoen.

Tog nr. 24 og 25 kjører på eksisterende bane.

Flyplasztogene har en effektfaktor tilnærmet lik 1. De trekker kun aktiv effekt fra strømforsyningssystemet.

6 LASTFLYTBREGNINGER

Det er foretatt lastflytberegninger med datamaskinprogrammet "ACCAN". Vedlegg 13 gir en beskrivelse av "ACCAN". Vedlegg 4 og 5 viser de aktuelle kretsene som er benyttet i de forskjellige beregningene. Kontaktledningsanlegget inklusive returkretsen, er i beregningene representert med en konstant resistiv og induktiv impedans, begge lik $0.21 \Omega/\text{km}$. Det vil si $z = 0.21 + j 0.21 \text{ ohm/km}$.

6.1 Representasjon av omformerstasjoner

For omformerstasjonene er det brukt en modell som gir konstant utmatet spenning lik 16.5 kV, og med økende fasesakking ved økende last.[3]

De eksisterende omformerstasjonene, som er vist i vedlegg 14, består av roterende omformeraggregat. En eventuell ny omformerstasjon i forbindelse med Gardermobanen skal bestå av statiske omformerenheter.

En ny statisk omformerstasjon vil foreløpig ha den samme fase- og spenningskarakteristikken som en roterende omformerstasjon.

Tabell 6.1 viser hvilke aggregater som er plassert i omformerstasjonene og hvilken kapasitet disse har.

Omformerstasjon		Maks strøm [A]		
		konstant	6 min.	2 sek.
Lillestrøm	3 * 3.8 MVA + 1 * 10 MVA	3 * 238 + 625		3 * 400 + 1250
Asker	1 * 5.8 MVA + 1 * 10 MVA	363 + 625	500 + 875	625 + 1250
Holmlia	2 * 10 MVA	2 * 625	2 * 875	2 * 1250
Alnabru	1 * 10 MVA	625	875	1250
Tangen	2 * 7 MVA	2 * 438	2 * 688	2 * 825
Ski	2 * 3.8 MVA	2 * 238		2 * 400
Lunner/Hønefoss	2 * 5.8 MVA	2 * 363	2 * 500	2 * 625

Tabell 6.1

Alnabru er i overensstemmelse med resultater fra utførte målinger lagt inn med en fallende spenningskarakteristikk.

Tabell 6.1 angir overlastbarheten til roterende omformerenheter. Hvor mye aggregatene kan levere før utkobling inntreffer bestemmes i praksis av overstrømsreleenes innstilling. Generatoren (stator) er vernet av et inverttidsoverstrømsrelé med RI-karakteristikk.

Startverdiene for disse releene, (det vil si den laveste strømmen som kan løse ut aggregatene) er lik angitte 2 sek. overlastbarhetsverdi. Ved svært kortvarige strømtopper (<2 sek) vil aggregatene kunne belastes enda hardere uten at utkobling inntreffer.

I tabell 6.1 er 2 sek. overlastbarhetsverdi for aggregatene lagt sammen. Ved å gjøre dette forutsettes det at lastfordelingen mellom aggregatene i stasjonen er ideell. Selv om det er mulig å innstille spenningsregulatorene slik at lastfordelingen er meget god, kan det ikke uten videre forutsettes at dette er tilfelle i alle omformerstasjoner. En kan heller ikke forutsette at overstrømsreleene på forskjellige maskiner fungerer likt. Disse usikkerhetene er det tatt hensyn til ved at den angitte kortidsoverlastbarheten er angitt til 2 sekunder, mens starttiden i invertertids-overstrømsreleet i realiteten er 3 sekunder.

Statiske omformere er ikke overlastbare, men avlaster seg selv ved å senke spenningen. Statiske omformere faller derfor ikke ut ved overlast. Spenningsreduksjon vil gi en redusert spenning over togene, og en økning av strømmen i nabostasjonene. Hvor stor spenningsreduksjonen blir vil være helt avhengig av samkjøringsforholdene. Ved sterk samkjøring, (dvs. liten impedans i det elektriske anlegget som forbinder omformerstasjonene), vil selv små spenningsreduksjoner avlaste omformeren sterkt. Den reduserte spenningen over togene blir dermed også lite følbare. I Oslo-området er det en sterk samkjøring mellom omformerstasjonene.

Belastningstoppene i omformerene er typisk svært varierende, hvor de største lasttoppene bare forekommer som korte støt. Normalt vil lasttoppene i nabostasjoner ikke falle sammen i tid. En kortvarig spenningsreduksjon for å unngå overlast i en omformerstasjon vil derfor ikke nødvendigvis øke den dimensjonerende maksimalstrømmen i nabostasjonen.

7 MÅLINGER

For å finne belastningstoppene fra dagens trafikk i de aktuelle omformerstasjonene er det målt sum enfasestrøm. Det er målt over minst 5 ukedager for å finne en verdi som representerer en topp i belastningen. I tillegg er det gjort en registrering av spenning på hovedsamleskinnen i koblingshuset på Oslo S. Spenningsmålingen skal brukes til vurdere hvilke innvirkning den nye Gardermobanen har på spenningsforholdene i koblingshuset.

Til målingene ble det benyttet rms måleverdiomformere med merkefrekvens $16 \frac{2}{3}$ Hz, som var koblet til følgende skrivere:

- * HIOKI 8833 Memory Hi Corder fra Instrutek A/S
- * SE 111 fra ABB.

Tabell 7.1 angir høyeste målte sum enfasestrøm i de aktuelle omformerstasjonene. Målingene er gjort uten Bøn omformerstasjon i drift, som bare er midlertidig i drift til etter OL-94. Målingene er gjort med Rudshøgda omformerstasjon i drift. Denne omformerstasjonen skal være i drift i en 5-års periode, men det er sannsynlig at omformerstasjonen erstattes ved utløpet av perioden.

Omformerstasjoner	Høyeste målte strømverdi [A]	Tidsintervall
Lillestrøm	1500	08.09-15.09.93
Asker	1450	22.09-29.09.93
Holmlia *	1400	30.03-12.04.88
Alnabru	780	06.09-13.09.93
Tangen	795	13.09-27.09.93
Bøn	960	30.09-18.10.93

Tabell 7.1

- * Under målingene på Holmlia omformerstasjon ble det oppdaget at utmatet spenning var unormalt lav, slik at omformerstasjonen gikk med liten belastning. Høyeste målte strømverdi var 640A. Det er derfor tatt utgangspunkt i en måling fra 1988.

Tabell 7.2 angir laveste målte spenning på koblingshuset Oslo S. Målingene oppbevares i arkivet til NSB Ingeniørtjenesten, Blks.

	Laveste målte spenning [kV]	Tidsintervall
Koblingshuset Oslo S **	14,5	29.09-07.10.93

Tabell 7.2

** Spenningsmålingen er gjort med en lavt innstilt utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon. Med konstant utmatet spenning lik 16.5 kV i Holmlia vil laveste målte spenning på koblingshuset bli noe høyere.

8 RESULTATER

8.1 Kapasitetsvurderinger i Lillestrøm, Tangen og ny omformerstasjon.

Det nødvendige effektbehovet i de aktuelle omformerstasjonene nord for Lillestrøm er gjengitt i tabell 8.1 for hvert alternativ.

Beregningene er utført med utgangspunkt i kretsen vist i vedlegg 4.

Alt.	Omformerstasjoner	Målt maks. belastning [A]	Total belastning med GMB i drift [A]	Effektbehov med GMB i drift [MVA]
1	Lillestrøm	1500	2850	47.0
	Tangen	800	1015	
	Gardermoen		1012	16.7
2	Lillestrøm	1500	2960	48.8
	Tangen	800	1035	
	Gardermoen		1000	16.7
3	Lillestrøm	1500	3463	57.1
	Tangen	800	966	
	Eidsvoll	960 *	1314	21.7
4	Lillestrøm	1500	3197	52.8
	Tangen	800	1008	
	Eidsvoll	960 *	1405	23.2
5	Lillestrøm	1500	2442	40.3
	Tangen	800	1015	
	Jessheim		1227	20.2
6	Lillestrøm	1500	3700	61.1
	Tangen	800	1110	

Tabell 8.1 Effektbehov

* Målt i Bøn omformerstasjon.

For å finne totalbelastningen i Lillestrøm og Tangen omformerstasjon er en målt maksimal belastning, summert med beregnet tilleggsbelastning fra Gardermobanen. Det er da antatt at den målte maksimale belastningen faller sammen i tid, med en togtrafikk på Gardermobanen, som også gir en høy belastning i omformerstasjonen. Dette gir verst tenkelige tilfellet. På grunn av en sterkt varierende lastsituasjon, er det vanskelig å ta hensyn til samtidighet når maksimal total belastning i omformerstasjonene skal beregnes.

Vedlegg 12 gir en forklaring på hvordan belastningen i Lillestrøm omformerstasjon er beregnet.

Det er forutsatt at en eventuell ny omformerstasjon ikke har noen vesentlig innvirkning på toppbelastningen i Tangen omformerstasjon, selv om den nok vil redusere gjennomsnittsbelastningen i omformeren. Topplastperioder i Tangen omformerstasjon inntreffer i tilfeller med flere tog eller tog med høy ytelse, i nærheten av stasjonen. På grunn av de lange avstandene mellom Tangen omformerstasjon og nabostasjonene, er det Tangen omformerstasjon som hovedsakelig mater togene i området rundt omformerstasjonen.

For å finne den totale belastningen i en eventuell ny omformerstasjon på Gardermoen eller Jessheim, var det nødvendig å sette opp ett tilfelle for den eksisterende trafikken på strekningen Lillestrøm-Tangen, (se vedlegg 11). For å finne den totale belastningen i en ny omformerstasjon på Eidsvoll, er det gjort målinger, (sum enfase), i Bøn omformerstasjon. Det er antatt at strømførsløpet i en ny omformerstasjon på Eidsvoll vil bli tilnærmet likt strømførsløpet i Bøn omformerstasjon

Vedlegg 19-23 gir togspenning, strøm i kontaktledning og belastning i ny omformerstasjon for alt. 1 til alt. 5.

Vurdering av resultater for hvert alternativ

Alt. 1:

Koblingshuset på Jessheim representerer en elektrisk forkorting av matestrekningen mellom Lillestrøm og Tangen. Generelt vil derfor en løsning med et koblingshus gi en bedre spenningsprofil på strekningen Lillestrøm-Tangen, enn en løsning uten koblingshus. I tillegg vil koblingshuset føre til større selektivitet i nettet. Det gir større mulighet for automatisk oppdeling av nettet. Ved en feil i kontaktledningssystemet er det mulig å koble ut mindre deler av linjen for å isolere ut feilen. En omformerstasjon på Gardemoen vil i hovedsak avlaste Lillestrøm omformerstasjon for trafikken på den delen av den nye Gardermobanen som ligger nord for Lillestrøm. I tillegg til omformerstasjonen på Gardemoen er det nødvendig med et effektuttak i Lillestrøm omformerstasjon lik 47 MVA.

Alt. 2:

Omformerstasjonen på Gardemoen vil i likhet med alt. 1 hovedsaklig avlaste Lillestrøm omformerstasjon for trafikken nord for Lillestrøm. Matelinjen gir en spenningsforbedring på strekningen Lillestrøm-Tangen, (se kap. 8.5). Denne løsningen gir ikke samme selektivitet i nettet som alt. 1. Med kun ett spor videre mellom Gardemoen og Eidsvoll kan matelinjen benyttes som en forsterkning av samkjøringen.

Alt. 3:

Ut fra ønsket om jevn spenning på strekningen Lillestrøm-Tangen er en omformerstasjon på Eidsvoll den beste løsningen. Med den togplasseringen som er gjengitt i tabell 5.1, kapittel 5.2 og blindmating på den nye banen er laveste spenning på Gardemoen lik 14.8 kV. En sammenkobling av linjene på Gardemoen, men ellers identiske forhold gir en spenning på Gardemoen lik 15.0 kV. Det er mulig å koble sammen linjene på Gardemoen ved å bruke en sonegrensebryter. Alt. 3 er den løsningen som avlaste Lillestrøm omformerstasjon minst for trafikken på den nye Gardermobanen. I tillegg til ny omformerstasjon på Eidsvoll er det nødvendig med et effektuttak i Lillestrøm omformerstasjon lik 57.1 MVA.

Alt. 4:

Alt. 4 gir ikke samme selektivitet i nettet som en løsning med koblingshus på Jessheim. I tillegg til en ny omformerstasjon på Eidsvoll er det nødvendig med et effektuttak i Lillestrøm omformerstasjon lik 52.8 MVA. Med kun ett spor videre mellom Gardemoen og Eidsvoll kan matelinjen benyttes som en forsterkning av samkjøringen. Laveste spenning på Gardemoen er for denne løsningen lik 15.3 kV.

Alt. 5:

En omformerstasjon på Jessheim er den løsningen som vil gi den største avlastningen av Lillestrøm omformerstasjon. I tillegg vil de to statiske omformerstasjoner få en effektiv samkjøring. Dersom en omformerstasjon når strømgrensen vil den kunne overføre lasten til den nærliggende omformerstasjonen ved å senke spenningen. Denne løsningen gir bedre spenningsforhold på strekningen Lillestrøm-Tangen enn alternativ 1, 2 og 6. Med blindmating på Gardermobanen er laveste spenning på Gardemoen lik 16.0 kV. Omformerstasjonen på Jessheim gir en større selektivitet i nettet, på samme måte som et koblingshus.

Alt. 6:

Alt. 6 er den løsningen som gir størst effektuttak i Lillestrøm omformerstasjon, med ett nødvendig effektuttak lik 61.1 MVA. En stor omformerstasjon vil forsyne en tilsvarende stor del av togtrafikken. Det resulterer i store ringvirkninger dersom omformerstasjonen faller. Det er derfor ønskelig med flere mindre omformerstasjoner, for å øke sikkerheten i strømforsyningen. Med blindmating på Gardermobanen, er laveste spenning på Gardermoen lik 14.6 kV. En sammenkobling av linjene på Gardermoen, men ellers identiske forhold gir en spenning på Gardermoen lik 14.8 kV.

8.2 Kapasitetsvurderinger i Asker, Holmlia og Alnabru omformerstasjon.

Det er nødvendig å undersøke hvilken innvirkning et nytt dobbeltspor mellom Lillestrøm og Oslo, har på spenningsforholdene i koblingshuset på Oslo S.

Med kretsen vist i vedlegg 6, er det beregnet en ekvivalent last på hovedsamleskinnen i koblingshuset, som tilsvarer den laveste registrerte spenningen på hovedsamleskinnen. Ekvivalentlasten representerer den største registrerte belastningen i Oslo området. Beregningene er gjort med ACCAN og resultatet er vist i vedlegg 18.1.

Med kretsen vist i vedlegg 6, er det beregnet hvilken innvirkning et nytt dobbeltspor har på spenningsforholdene i koblingshuset. I tillegg til den ekvivalente lasten, er trafikken på den nye Gardermobanen mellom Oslo S og Lillestrøm tatt med i beregningene. Resultatet er vist i vedlegg 18.2 og 18.3. Resultatet viser at selv med Gardermobanen i drift, vil ikke spenningsfallet bli større enn med dagens infrastruktur. Et nytt dobbeltspor mellom Lillestrøm og Oslo S vil halvere den elektriske impedansen for denne strekningen. En tilnærmet lik spenning på hovedsamleskinnen i koblingshuset tyder på at det vil bli små forandringer i belastningsforholdene i Asker og Holmlia omformerstasjon. Både Holmlia og Asker omformerstasjon vil forsyne Gardermobanen, men Lillestrøm omformerstasjon vil overta en nesten tilsvarende effekt fra den effekten Holmlia og Asker omformerstasjon mater til Oslo området i dag.

Det er foretatt et beregningseksempel for å vise at Gardermobanen med den ekstra trafikken den medfører, bare gir mindre forandringer i belastningen i Asker, Alnabru og Holmlia omformerstasjon.

Det er tatt utgangspunkt i kretsen vist i vedlegg 7 og følgende forutsetninger:

- * Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm omformerstasjon har en grunnlast som tilsvarer dagens belastning i en topplastperiode.
- * Ski og Lunner/Hønefoss omformerstasjon legges inn med en grunnlast lik 8.75 MVA, med en effektfaktor lik 0.8. I forbindelse med denne utredningen er det ikke målt sum enfase strøm i Ski, Lunner eller Hønefoss omformerstasjon. Det er derfor tatt utgangspunkt i 8.75 MVA, som representerer en høy belastning i omformerstasjonene.
- * Den ekvivalente lasten på Oslo S er tatt bort.

Tabell 8.2 viser belastningen i de aktuelle omformerstasjonene, med de forutsetningene som er tatt ovenfor.

Omformerstasjoner	Sum enfase strøm [A]
Alnabru	741
Asker	1461
Holmlia	1414
Lillestrøm	1519
Ski	533
Lunner/Hønefoss	570

Tabell 8.2

I de videre beregningene er det tatt utgangspunkt i kretsen vist i vedlegg 5. Omformerstasjonene er belastet med samme grunnlast, men i tillegg er det lagt inn et nytt dobbeltspor mellom Lillestrøm og Oslo S og en trafikk på denne strekningen som tilsvarer trafikken på den nye Gardermobanen, (se kap. 5).

Tabell 8.3 viser belastningen i de aktuelle omformerstasjonene, med dobbeltspor mellom Oslo og Lillestrøm.

Resultatene viser at det i hovedsak er Lillestrøm omformerstasjon som får en større belastning.

Belastningen i Lillestrøm øker med tilnærmet 750 A.

Belastningen i Holmlia øker med tilnærmet 100 A.

Belastningen i Asker øker med tilnærmet 70 A.

Belastningen i Alnabru øker kun med 50 A, på grunn av at utmatet spenning synker som en funksjon av økende belastning. Ski og Lunner/Hønefoss omformerstasjon har en belastning som er tilnærmet dagens, også etter at Gardermobanen er satt i drift.

Omformerstasjoner	Sum enfase strøm [A]
Alnabru	793
Asker	1526
Holmlia	1534
Lillestrøm	2271
Ski	549
Lunner/Hønefoss	594

Tabell 8.3

8.3 Gardermobanen - med dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll

I beregningene som følger, er det forutsatt at Gardermobanen går fra Oslo Sentralbanestasjon til Eidsvoll, med dobbeltspor også mellom Gardermoen og Eidsvoll.

Det er forutsatt en togplassering på strekningen Gardermoen-Eidsvoll som vist i tabell 8.4. Det er antatt at det på denne parsellen kjører lokaltog av type 69 med 3 vogner, (se vedlegg 2 for teknisk representasjon). Togplasseringen på de øvrige sporene er vist i tabell 5.1 i kapittel 5.2. Beregningene er utført for alt. 5.

Tog nr.	Plassering [km]	Effektforbruk		Beskrivelse
		[kW]	[kVAr]	
26	56	469.6	352.2	Fart i friluft (130 km/t)
27	63	1920	1400	Akselerasjon

Tabell 8.4 Effektforbruk/plassering

Tog nr. 26 kjører på ny bane fra Oslo S til Eidsvoll.
 Tog nr. 27 kjører på ny bane fra Eidsvoll til Oslo S.

Tabell 8.5 viser de beregnede belastningene i de aktuelle omformerstasjonene.

Alt.	Omformerstasjoner	Målt maks. belastning [A]	Total belastning [A]	Effektbehov [MVA]
5	Tangen	800	1059	
	Jessheim		1340	22.1

Tabell 8.5 Effektbehov

Beregningene viser at Lillestrøm omformerstasjon har tilnærmet den samme toppbelastningen, som uten dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll.

Det er i hovedsak ny omformerstasjon på Jessheim og Tangen omformerstasjon som forsyner trafikken på parsellen Gardermoen-Eidsvoll. Tangen omformer vil ta tilnærmet 25 % av lastøkningen. Med begge aggregatene i drift, medfører dette ikke kapasitetsproblemer i Tangen omformerstasjon. Jessheim omformerstasjon vil ta tilnærmet 65 % av lastøkningen. Ekstrabelastningen medfører ikke kapasitetsproblemer i en ny omformerstasjon på Jessheim på 2*14 MVA

Med en ny omformerstasjon på Jessheim og dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll, er spenningen på Gardermoen henholdsvis 15.8 kV og 16.0 kV. Det er da antatt en togtrafikk på parsellen Gardermoen-Eidsvoll, som beskrevet ovenfor.

Med en trafikk på eksisterende spor mellom Lillestrøm-Tangen som vist i vedlegg 11, i tillegg til trafikken på Gardemobanen, er beregnet spenning på Eidsvoll lik 15.6 kV. Det er da forutsatt at det går to spor mellom Gardermoen og Eidsvoll.

8.4 Utfall av ett aggregat.

Alnabru omformerstasjon

I Alnabru omformerstasjon er det kun ett aggregat på 10 MVA. Det er derfor nødvendig å undersøke følgene av at aggregatet faller ut. Alnabru er hardt belastet med dagens trafikk. Det er forutsatt at omformerstasjonen ikke blir vesentlig hardere belastet etter at Gardermoen er bygget. Dette kan reguleres ved å stille inn en fallende spenningskarakteristikk som funksjon av utmatet effekt i omformerstasjonen. Det er i hovedsak Lillestrøm, Holmlia og Asker omformerstasjon som vil overta lasten, dersom Alnabru omformerstasjon faller ut. Ligning 8.1 viser den tilsynelatende effekten som fordeles på nabostasjonene til Alnabru, dersom aggregatet faller ut, i en høylastperiode.

$$S_{Alna} \approx 16000 * 800 = 12.8 MVA \quad (8.1)$$

Tabell 8.3 i kapittel 8.2 viser at Holmlia omformerstasjon vil ha en toppbelastning tilnærmet 1500 A, etter at Gardermobanen er satt i drift. Holmlia omformerstasjon har en 2 sek. verdi lik 2500 A. Med en ideell lastfordeling mellom aggregatene, vil Holmlia omformerstasjon ha en overskuddskapasitet som følger:

$$S_{Holmlia} \approx (2500 - 1500) * 16500 = 16.5 MVA \quad (8.2)$$

Tilsvarende gjelder for Asker omformerstasjon:

$$S_{Asker} \approx ((1250 + 625) - 1500) * 16500 = 6.2 MVA \quad (8.3)$$

I tillegg til de 2 aggregatene som står i Asker omformerstasjon i dag, er det mulig å sette inn et tredje aggregat. Med en ekstra omformer på 5.8 MVA og ideell lastfordeling vil Asker omformerstasjon ha en overskuddskapasitet lik:

$$S_{Asker} \approx ((1250 + 625 + 625) - 1500) * 16500 = 16.5 MVA \quad (8.4)$$

Med ett ekstra aggregat i Asker omformerstasjon og ideell lastfordeling, vil Asker omformerstasjon kunne ta 100% av lasten fra Alnabru omformerstasjon. Med kun 2 aggregat i Asker omformerstasjon og ideell lastfordeling vil Asker omformerstasjon kunne overta tilnærmet 50% av lasten fra Alnabru omformerstasjon. Asker omformerstasjon er sammenkoblet med Hakavik kraftverk og Nordagutu omformerstasjon via en høyspennings overføringslinje. Det er i denne rapporten ikke vurdert hvilken virkning høyspenningslinjen har.

Lillestrøm omformerstasjon har mulighet til å senke spenningen dersom omformerstasjonen når strømgrensen. En statisk omformer som overbelastes faller ikke ut, før utmatet spenning er redusert til under 10 kV.

Den elektriske avstanden mellom Holmlia og Alnabru er tilnærmet halvparten av den elektriske avstanden mellom Asker og Alnabru. Holmlia og Lillestrøm omformerstasjon vil være de som i hovedsak overtar lasten dersom Alnabru faller ut. Holmlia omformerstasjon har kapasitet nok til alene å kunne overta lasten fra Alnabru omformerstasjon. Ved utfall av Alnabru omformerstasjon er det derfor mulig å opprettholde den planlagte trafikken.

Holmlia omformerstasjon

Dersom ett aggregat i Holmlia omformerstasjon faller ut, vil utmatet spenning synke. Hvor mye spenningen reduseres vil avhenge av hvordan regulatoren er innstilt. Det er nødvendig å stille regulatoren slik at spenningen reduseres tilstrekkelig til at aggregatet som er i drift, ikke overbelastes. Det vil si at spenningen må reduseres så mye at omformerstasjonen overfører tilstrekkelig last til nabostasjonene.

Med kretsen vist i vedlegg 9, er strømmen i Holmlia omformerstasjon beregnet til 1550 A. P1, Q1 og P2, Q2 er plassert henholdsvis 2 km. og 4.5 km. utenfor Holmlia omformerstasjon. Disse lastuttakene tilsvarer en stor togtrafikk i området rundt omformereren. Det vil si at omformerstasjonen har en toppbelastning. Effekttaket i omformereren er lik:

$$S_{Holmlia} \approx 1550 * 16500 = 25.6 \text{ MVA} \quad (8.5)$$

Dersom ett aggregat faller ut, vil en reduksjon av utmatet spenning på det gjenværende aggregatet til 15.9 kV, gi en belastning i Holmlia som tilsvarer en strøm tilnærmet lik 1040 A. Ett aggregat på 10 MVA har en 2 sek. verdi lik 1250 A. Det er i hovedsak Lillestrøm og Ski omformerstasjon som overtar lasten fra Holmlia omformerstasjon. Lillestrøm og Ski omformerstasjon er de nabostasjonene som elektrisk ligger nærmest Holmlia omformerstasjon.

Vedlegg 24 viser effektflyten ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

I Oslo området er det kapasitet nok til å overta effektbortfallet. Kapasitetsbehovet lenger sørover på Østfoldbanen er ikke vurdert i denne rapporten.

Tangen omformerstasjon

Med en ny omformerstasjon på Jessheim vil, i overgangsfasen, avstanden fra Tangen omformerstasjon til Jessheim omformerstasjon være tilnærmet 60 km. Avstanden fra Tangen omformerstasjon til Fåberg omformerstasjon vil være tilnærmet 90 km. Dersom ett av aggregatene faller ut i Tangen omformerstasjon, vil utmatet spenningen reduseres. På grunn av de lange avstandene til nabostasjonene vil Tangen omformerstasjon i mindre grad enn de øvrige omformerstasjonene, som er omtalt i rapporten, bli avlastet når spenningen reduseres. I overgangstilfellet og uten Rudshøgda omformerstasjon i drift, vil utfall av et aggregat i Tangen omformerstasjon i en topplastperiode sannsynligvis føre til forstyrrelser i trafikken.

Så lenge Rudshøgda omformer er i drift og etter at det er etablert 3 spor sørover fra Eidsvoll, vil Tangen omformerstasjon ha forbedret samkjøring og større muligheter for avlastning via spenningsreduksjon.

Strømmålingen fra Tangen omformerstasjon viser at stasjonen, har døgnetts topplastperiod rundt midnatt. Denne topplastperioden vil sannsynligvis ikke falle sammen med en høylastperiode på Gardermobanen.

Asker omformerstasjon

Med den bestykningen Asker omformerstasjon hadde opprinnelig (2 * 10 MVA + 5.8 MVA) er det ingen kapasitetsproblemer i omformerstasjonen.

Asker omformerstasjonen har med dagens bestykning en maksimal belastning tilnærmet lik 80 % av 2 sek. verdien. I følge beregningen medfører Gardermobanen kun små forandringer i belastningen i Asker omformerstasjon (se kap. 8.2). Med den opprinnelige bestykningen i Asker omformerstasjon vil det derfor ikke være kapasitetsproblemer i omformerstasjonen dersom ett aggregat faller ut.

Jessheim/Lillestrøm omformerstasjoner

Utfall av Jessheim omformerstasjon vil føre til at Lillestrøm omformerstasjon overtar en stor del av lasten. Dersom Lillestrøm omformerstasjon når strømgrensen vil utmatet spenning reduseres, slik at stasjonen overfører lasten videre til nabostasjonene. I tillegg til Lillestrøm og Alnabu omformerstasjon er det hovedsakelig Holmlia omformerstasjon som overtar lasten, dersom Jessheim omformerstasjon faller ut. Normalt vil lasttoppene i nabostasjoner ikke falle sammen i tid. Ved en sterk samkjøring er det da mulig å overføre last fra den hardt belastede omformerstasjonen til nabostasjonen. Statistiske omformerstasjoner gjør dette ved å senke utmatet spenning. Ved utfall av Jessheim omformer vil en betydelig effekt fra Lillestrøm omformerstasjon eventuelt fra Oslo området, mates inn mot Jessheim. Dersom det settes restriksjoner på effektuttak under akselerasjon og eventuelt redusert topphastighet bør det være mulig å opprettholde en stor del av trafikken.

Konsekvensene av at Lillestrøm omformerstasjon faller ut vil avhenge av belastningsforholdene i strømforsyningsnettet. Dersom omformerstasjonen faller ut i en rush-periode er det stor sannsynlighet for at også Alnabu omformerstasjon faller ut. Det foreligger da en situasjon hvor effekttilgangen i nettet er kraftig redusert. Lillestrøm omformerstasjon vil bli en mer sentral og viktigere omformerstasjon, enn med dagens infrastruktur, der konsekvensene ved bortfall kan bli store.

8.5 Spenningsbetraktninger - strekningen Lillestrøm-Tangen

Det er registrert spenning på sonegrensebryter på Eidsvoll i tidsrommet 19.09-04.10.90. Det er i de videre beregningene tatt utgangspunkt i en målt verdi lik 13.0 kV, som representerer en av de lavest målte verdiene. Registreringen viser også lavere spenninger, men fordi det ikke eksisterer noen hendelsesliste for dette tidsintervallet kan det være et resultat av koblinger eller andre uregelmessigheter i nettet. Med ACCAN er det mulig å beregne en ekvivalent last på Eidsvoll som gir dette spenningsfallet. Det er da tatt utgangspunkt i kretsen vist i vedlegg 8. Denne ekvivalente lasten kan nå brukes til å undersøke spenningsforbedringen på strekningen Lillestrøm-Tangen med Gardermobanen i drift. Dette er gjort for alt.1, 2 og 5. Det er nødvendig å vite hvilket punkt på strekningen som gir høyest spenningsfall ved en gitt last. Spenningsberegningene som er utført for alt.1, 2 og 5, tar som utgangspunkt at Gardermobanen kun går til Gardermoen, da dette representerer verste situasjon.

I vedlegg 15 og 16 er det vist hvilket punkt på strekningen Lillestrøm-Tangen som gir det største spenningsfallet på kontaktledningen for henholdsvis alt. 1 og 2 ved en gitt last. For alt. 5 vil punktet midt i mellom Jessheim og Tangen gi det største spenningsfallet. Tabell 8.6 viser beregnet spenning når den ekvivalente lasten er tatt ut i det punktet på strekningen som gir størst spenningsfall. Beregningene gir bare et anslag over spenningsforbedringene på strekningen Lillestrøm-Tangen med en gitt forandring i strømforsyningssystemet.

Alt	Plassering ekv. last i forh. til Oslo S [km]	Beregnet verste spenning Lillestrøm-Tangen [kV]
1	72	13.7
2	50	13.7
5	74	14.1
1*	81	14.3
5*	81	14.4

Tabell 8.6

- * Alt 1* og 5* er identisk like med alt. 1 og 5, men har i tillegg dobbeltspor mellom Gardermoen og Eidsvoll, med en trafikk som beskrevet i kap. 8.3

9 LEDIG KAPASITET M.H.P. FREMTIDIG TRAFIKKØKNING

Ett nytt dobbeltspor mellom Oslo S og Lillestrøm har liten innvirkning på toppbelastningen i Asker, Holmlia, og Alnabru omformerstasjon, (se kap.8.2).

Omformerstasjonene har med Gardermobanen i drift en toppbelastning i forhold til 2. sek. verdien, tilnærmet lik:

- Holmlia omf: $(1500/2500)*100\% = 60\%$
- Asker omf: $(1500/1875)*100\% = 80\%$
- Tangen omf: $(1100/1650) * 100 \% = 67 \%$

Med ett ekstra aggregat i Asker omformerstasjon på 5.8 MVA er forholdet mellom toppbelastningen og 2 sek. verdien lik:

- Asker omf: $(1500/2500) * 100 \% = 60 \%$

Alnabru omformerstasjon har idag, og må også i fremtiden ha en synkende spenningskarakteristikk som funksjon av belastningen, slik at den ikke tar vesentlig mer last enn med dagens trafikk.

Topplastperioder i en omformerstasjon inntreffer i tilfeller med flere tog/tog med høy ytelse i nærheten av omformerstasjonen. Normalt vil lasttoppene i nabostasjoner ikke falle sammen i tid. Det vil si at dersom en omformerstasjon ved ett gitt tidspunkt, har en toppbelastning, kan nabostasjonen være lite belastet. Økning i trafikken vil av den grunn gi en forholdsmessig større økning i omformerstasjonenes gjennomsnittlige belastning enn i toppbelastningen. Med en løsning som beskrevet i alt. 5 er det en effektiv samkjøring mellom Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon. Dersom en omformer når strømgrensen vil den kunne overføre lasten til den nærliggende omformerstasjonen ved å senke spenningen. Med hensyn på kapasiteten i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon vil en effektiv samkjøring gi muligheten til en ytterligere trafikkøkning. Det kan være en trafikkøkning enten på Gardermobanen eller på de eksisterende strekningene.

10 KONKLUSJON

For å tilfredstille krav til forsterkning av strømforsyningen på grunn av Gardermobanen, synes det mest hensiktsmessig å bygge en ny omformerstasjon på Lillestrøm på 3*14 MVA og en ny omformerstasjon på Jessheim på 2*14 MVA. Dette gir tilstrekkelig kapasitet på strekningen. Det bør bygges et koblingshus på Eidsvoll slik at kontaktledningsnettet på den nye Gardermobanen kobles sammen med kontaktledningsnettet på Hovedbanen. Denne løsningen gir tilfredstillende spenning på hele strekningen, både under overgangstilfellet der Gardermobanen går kun til Gardermoen og etter ferdigstillelse av parsellen mellom Gardermoen og Eidsvoll. Koblingshus på Eidsvoll gir bedre effektflyt, bedre spenningsforhold og bedre selektivitet i nettet. Asker og Holmlia omformerstasjon vil på grunn av Gardermobanen bare få mindre økning i effektbehovet. Gardermobanen vil ved normal drift ikke føre til kapasitetsproblemer i Asker og Holmlia omformerstasjon. Økningen av effektbehovet i Tangen omformerstasjon på grunn av Gardermobanen gir i normal drift ingen kapasitetsproblemer i omformerstasjonen. Alnabru omformerstasjon må stilles slik at den ikke blir overbelastet.

Gardermobanen vil i mindre grad føre til større driftsproblemer ved bortfall av omformerenheter og hele omformerstasjoner. Lillestrøm omformerstasjon vil bli en mer sentral og viktigere omformerstasjon, enn med dagens infrastruktur, der konsekvensene ved totalt bortfall kan bli store.

Kilder:

- [1]: PRESSURE TRANSIENTS IN A PROPOSED 14 km TUNNEL
by Alan E. Vardy
15. september 1993

- [2]: FRAGE C 167
Befahren von Tunnel bei hoher Geschwindigkeit
Bericht nr. 2
UTRECHT, September 1985

- [3]: FOU 18 Rapport
Simulering av banestrøm-
belastning i matestasjoner
og kontaktledningsnett
Del III
H.E. Børresen
Jan. 1992

- [4]: Bergensbanen
Strømforsyning vest for Mjølfjell omformerstasjon.
NSB Ingeniørtjenesten
17.02.93

Vedlegg:

1. Effektforbruk i flyplasstog.
2. Effektforbruk i lokaltog.
3. Skjematisk tegning over togplassering.
4. Skjematisk tegning av kretsen brukt til kapasitetsvurderinger i Lillestrøm, Tangen og ny omformerstasjon.
5. Skjematisk tegning av kretsen brukt til kapasitetsvurderinger i Asker, Holmlia og Alnabru omformerstasjon.
6. Skjematisk tegning av kretsen brukt til beregning av spenningsfall i koblingshuset på Oslo S.
7. Skjematisk tegning av strømforsyningssystemet i Oslo området.
8. Skjematisk tegning av kretsen brukt til beregning av spenningsfall på sonegrensebryter, Eidsvoll.
9. Skjematisk tegning av kretsen brukt til beregning av effektflyten ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.
10. Prinsippskisse.
Elektriske anlegg, strømforsyning.
11. Representasjon av trafikk på eksisterende spor mellom Lillestrøm og Tangen.
12. Beregning av effektbehov i Lillestrøm omformerstasjon.
13. Beskrivelse av ACCAN.
14. Plassering av omformerstasjoner som har innvirkning på Gardermobanen.
15. Impedans - Strekning Lillestrøm/Tangen.
16. Impedans - Strekning Lillestrøm/Eidsvoll.
17. Oversiktskart over Gardermobanen.
18. Beregning av spenningsfall på hovedsamleskinne, Oslo S.
19. Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer.
Alternativ 1.
20. Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer.
Alternativ 2.
21. Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer.
Alternativ 3.
22. Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer.
Alternativ 4.
23. Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Jessheim omformer.
Alternativ 5.
24. Beregning av effektflyt ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

Effektforbruk i flyplasstog

Det er lagt til grunn følgende data for flyplasstog:

Antall vogner:	3
Vekt m/passasjerer:	210 tonn
Hjelpekraft:	75kW
Varme pr. vogn:	25kW
Effektfaktor:	1.0
Virkningsgrad:	0.8

Effektforbruk ved maksimal akselerasjon

Antar at togene ved akselerasjon tar ut full effekt og at maksimal traksjonseffekt er lik 3.5 MW.

Toget trekker følgende effekt fra strømforsyningssystemet:

$$P_{aks} = (3500/0.8 + 150) kW = 4525 kW \quad (1.1)$$

Effektforbruk i tunnel og i friluft [1]

Effektforbruket når toget kjører i tunnel er beregnet på grunnlag av følgende forutsetninger:

Antall spor:	2
Tverrsnittsareal:	85kvm
Hastighet:	200km/h
Toglengde:	115m

Det gir følgende krefter på tog i tunnel:

Luftmotstand:	22.8 kN
Rullemotstand:	6.846 kN

Effektforbruket i tunnel:

$$P_{Tunnel} = 200/3.6 * (22.8 + 6.836) / 0.8 + 150 \approx 2210 kW \quad (1.2)$$

Forholdet mellom effektforbruk i tunnel og i friluft kan for hastigheter over 100km/t settes tilnærmet lik 1.7[2]

Effektforbruk i friluft:

$$P_{Fri} = 2210 / 1.7 = 1300 \text{ kW} \quad (1.3)$$

Effektforbruk i lokaltog, type BM69 med 3 vogner

Det er lagt til grunn følgende data for lokaltog:

Total vekt inkl. passasjerer:	150 tonn
Styrevogn:	35.5 tonn
Mellomvogn:	35 tonn
Motorvogn:	60.5 tonn
Hjelpekraft:	75kW
Varme pr. vogn:	25kW
Effektfaktor:	0.8
Virkningsgrad:	0.8

Effektforbruk ved maksimal akselerasjon

BM69 har en primærstrømbegrensning lik 160A, som vist i figur 1. Toget kan ta ut en maksimal effekt lik:

$$P_{aks} = 15000 * 160 = 2400 \text{ kVA} \quad (2.1)$$

Effektforbruk i tunnel og i friluft [1]

Effektforbruket når toget kjører i tunnel er beregnet på grunnlag av følgende forutsetninger:

Antall spor:	2
Tverrsnittsareal:	85kvm
Hastighet:	130km/h
Toglengde:	115m

Det gir følgende krefter på tog i tunnel:

Luftmotstand:	10.54 kN
Rullemotstand:	3.8 kN

Effektforbruket i tunnel:

$$P_{Tunnel} = (130/3.6 * (10.54 + 3.8) / 0.8 + 150) / 0.8 \approx 997 \text{ kVA} \quad (2.2)$$

Forholdet mellom effektforbruk i tunnel og i friluft kan for hastigheter over 100km/t settes tilnærmet lik 1.7[2]

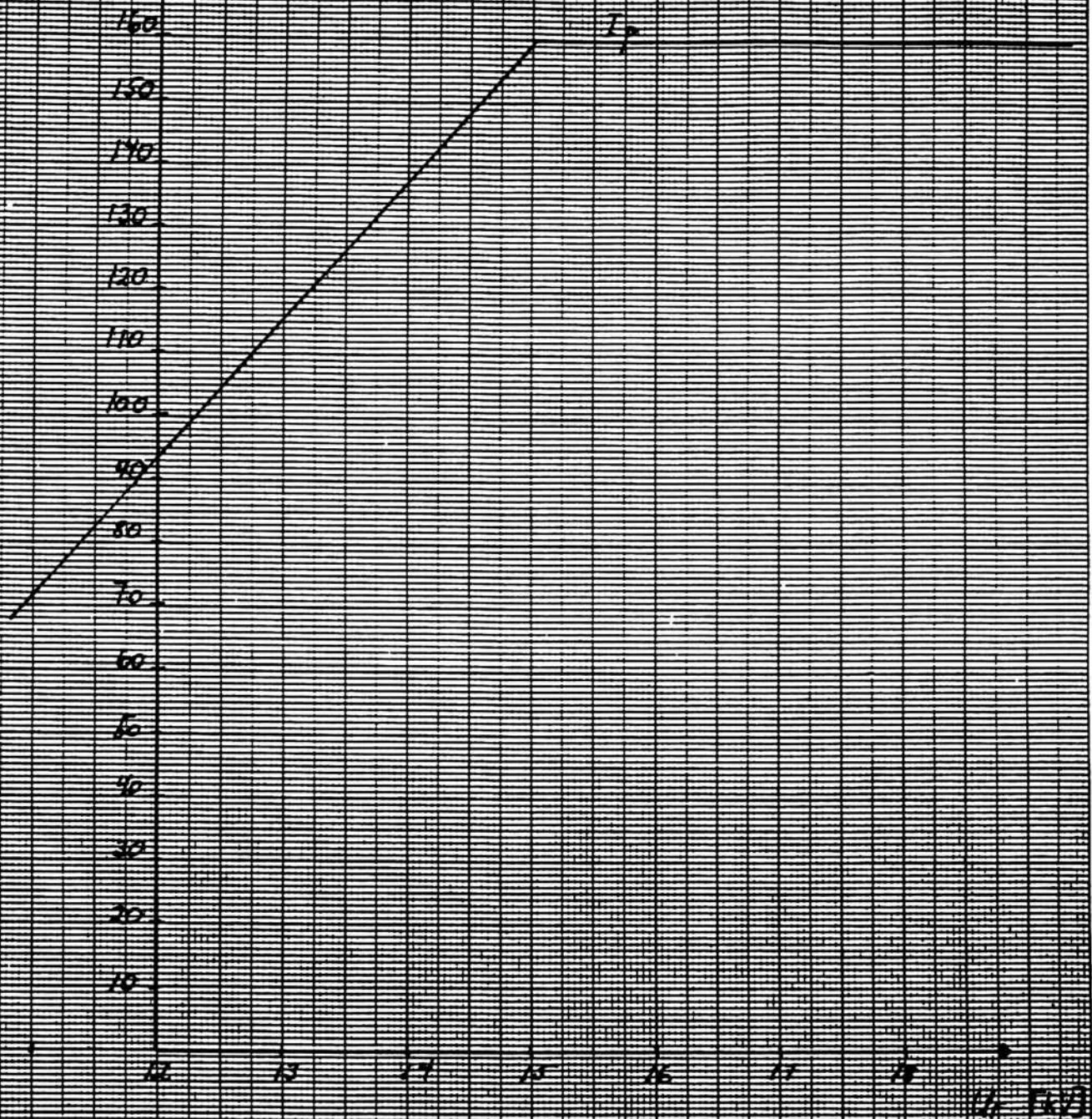
Effektforbruk i friluft:

$$P_{Fri} = 997 / 1.7 \approx 587 \text{ kVA} \quad (2.3)$$

Motorer type BM69, Primærstrømbegrensning
 Maksim. strøm uten begrensning = 232 A

For $U_p > 15$ kV er grensen satt til 160 A, = 70%

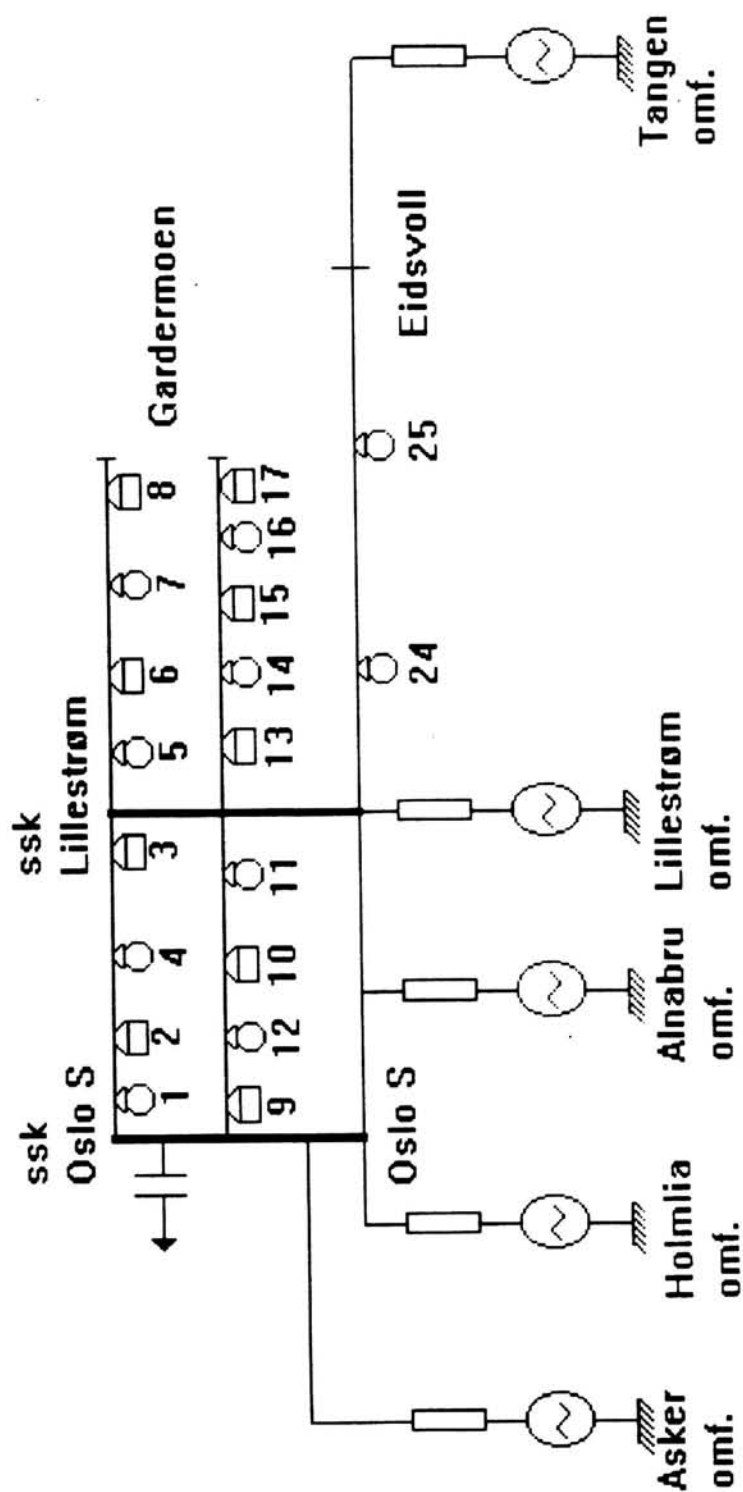
for $U_p < 15$ kV antar strømgrensen lineært.



For spenninger mellom 12 og 15 kV
 følger strømmen linært funksjonen
 $I_p \text{ maks}(U) = 22,4U - 175,8$

Figur 1 : Primærstrømbegrensning for BM69.

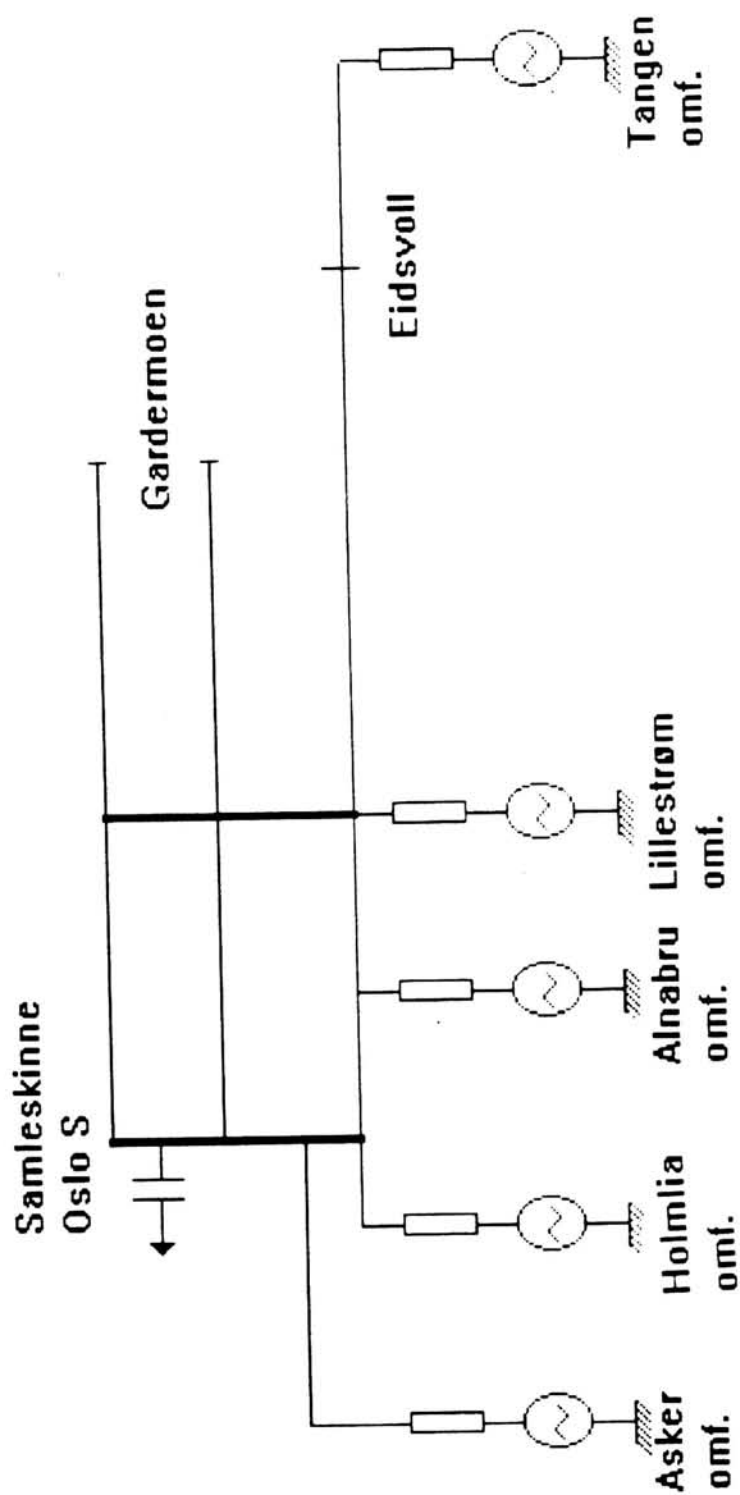
Skjematisk tegning over togplassering og matepunkter GMB
 Kun eksisterende omf.



○ : Lokaltog
 □ : Flyplass
 tallene 1-17, 24, 25 er referert til kap. 2.5

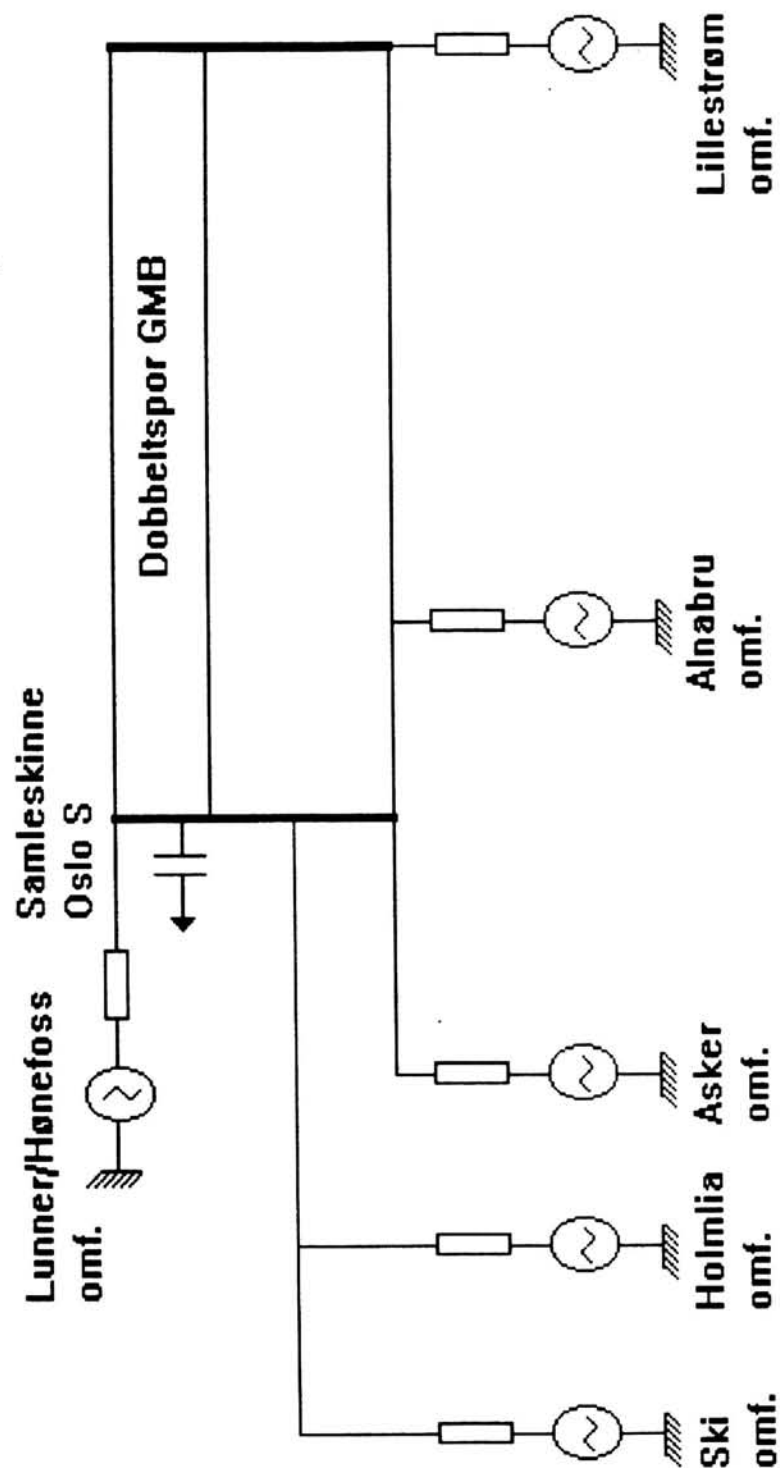
Kapasitetsvurderinger i Lillestrøm, Tangen og
ny omformer.

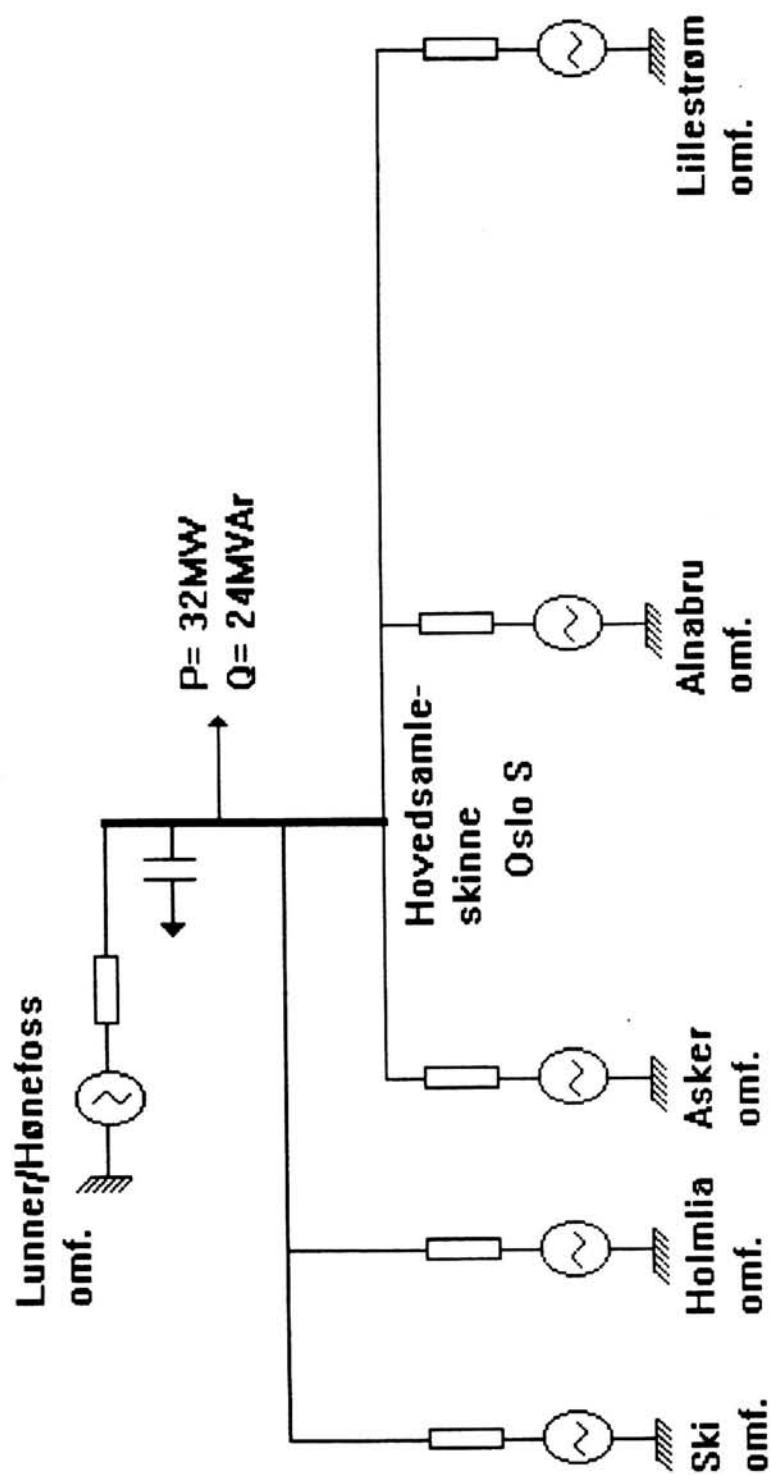
Skjematisk tegning av strømforsyningssystemet/matepunkter



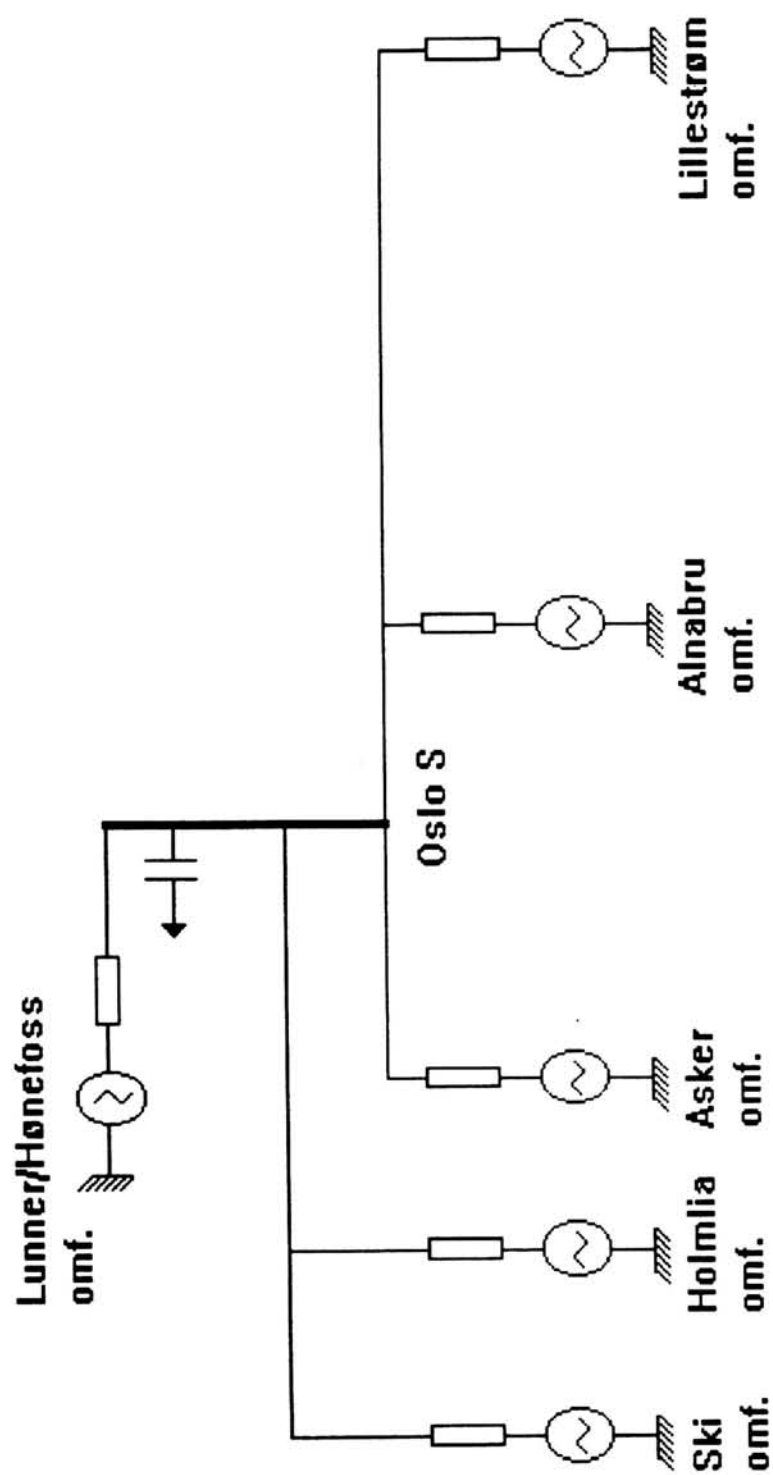
**Kapasitetsvurderinger i Asker,
Holmlia og Alnabru omf.**

**Skjematisk tegning av
strømforsyningsystemet**



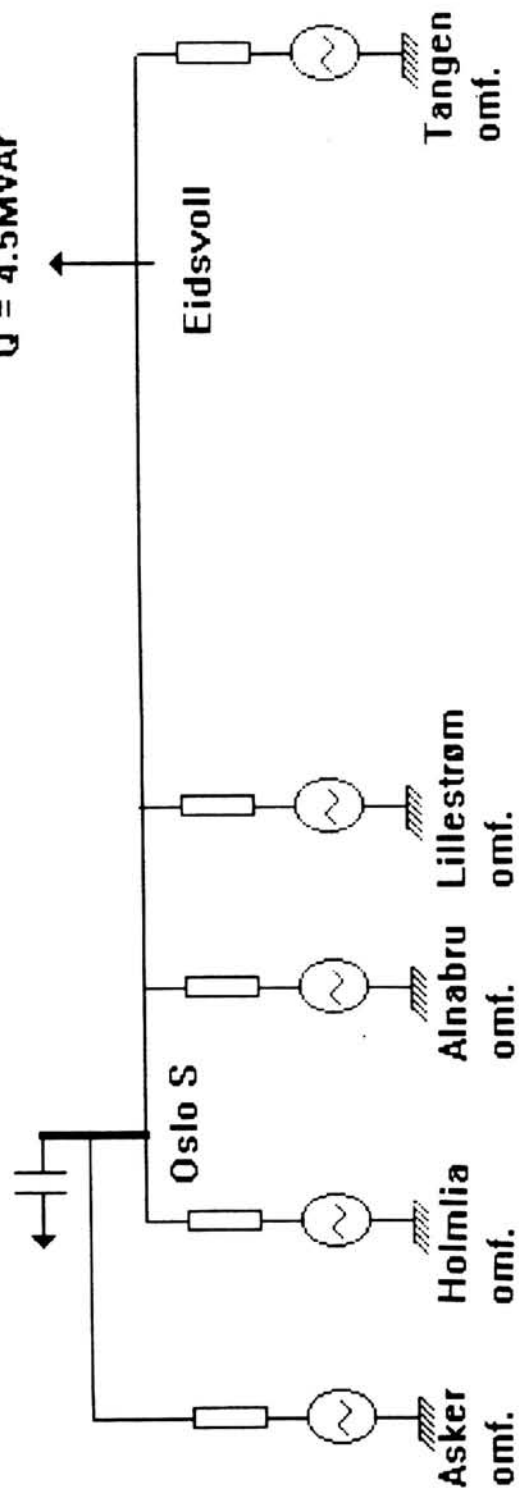


Kun lastuttak på samleskinne



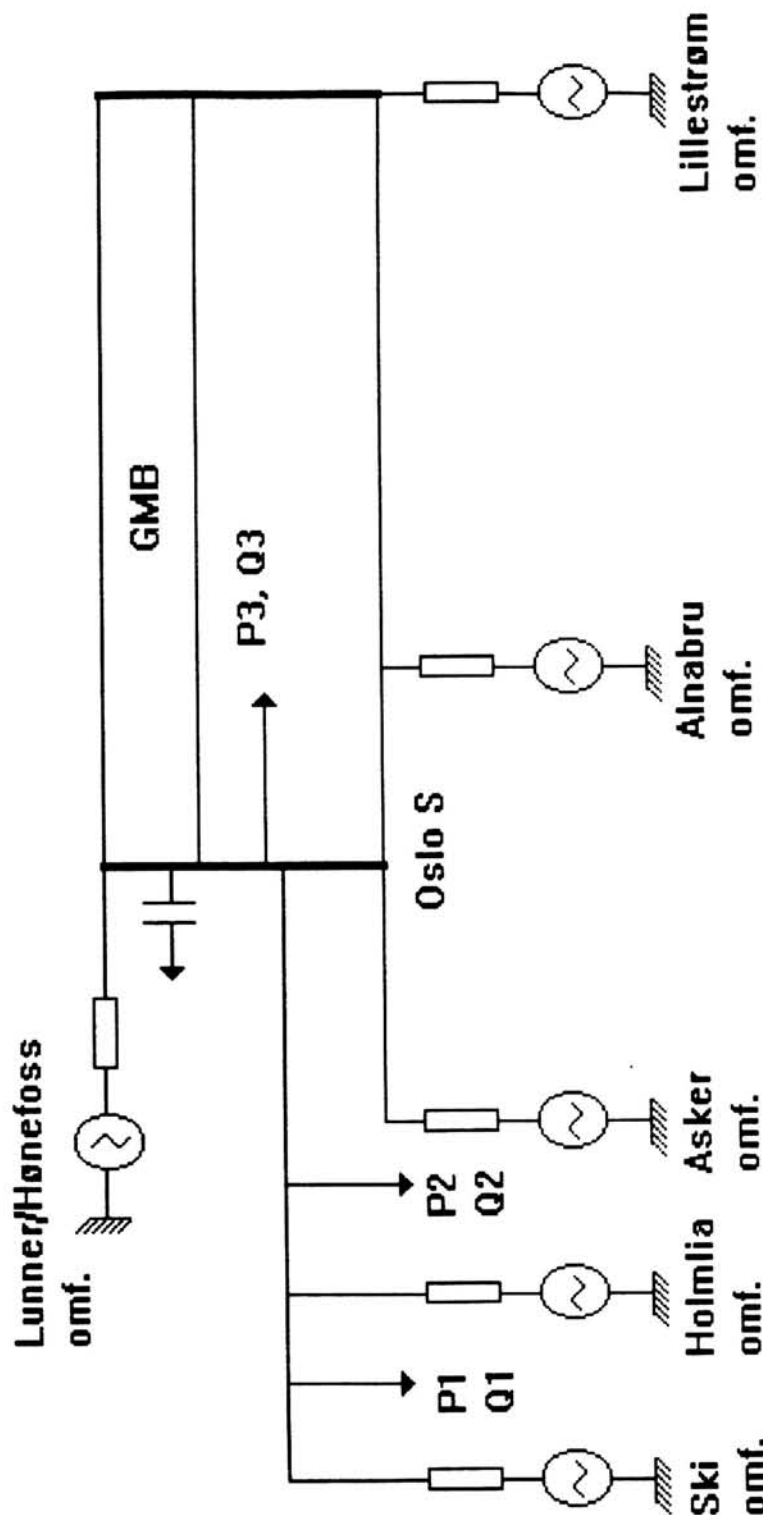
Omf. lastet med en grunnlast som tilsvarer dagens belastning i en topplastperiode

$P = 6\text{MW}$
 $Q = 4.5\text{MVAR}$



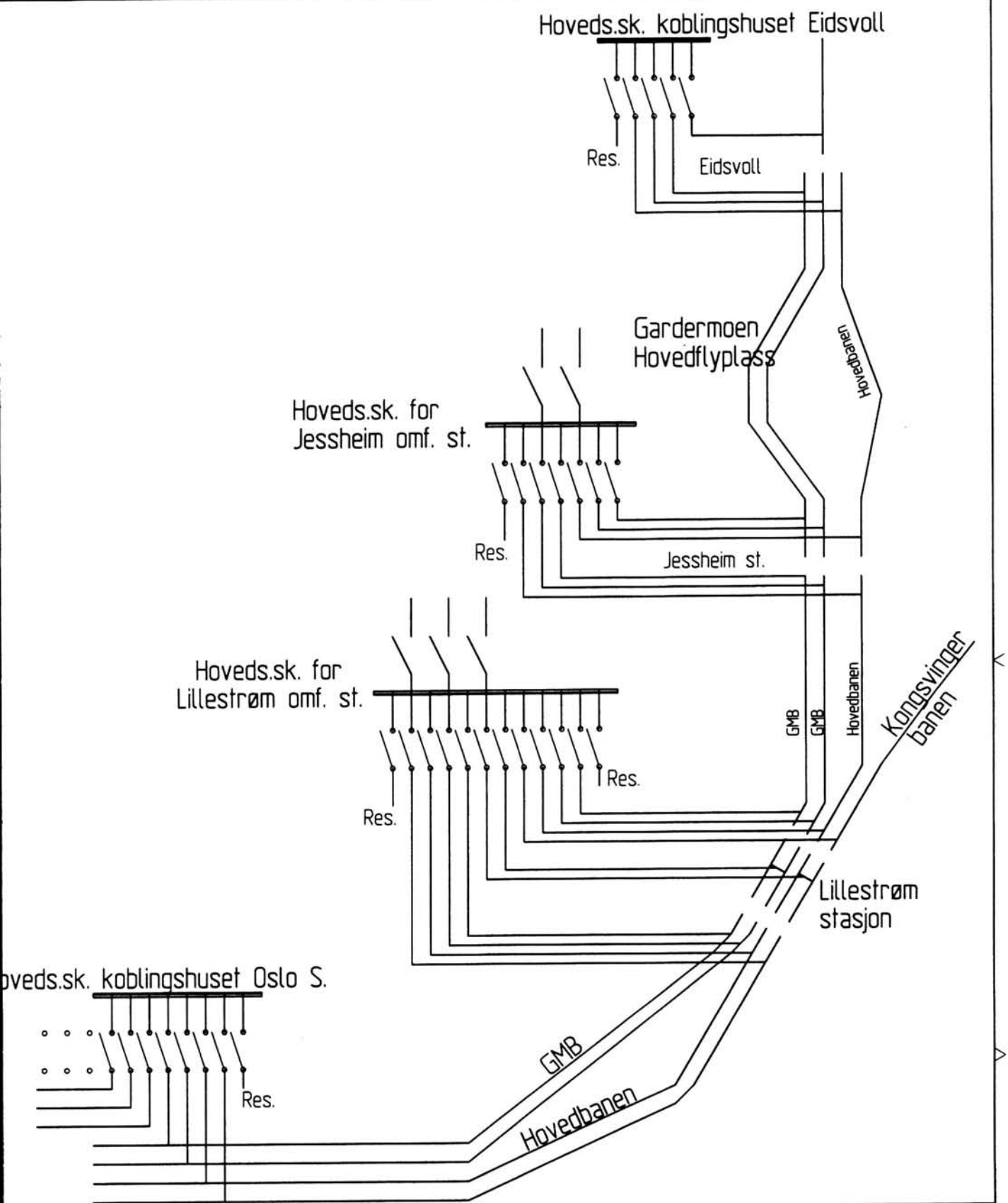
Lastuttaket gir en spenning på Eidsvoll lik 13.0 kV

Utfall av ett aggregat i Holmlia omf.



P1=9.0MW P2=5.0MW P3=23MW
 Q1=6.75MVAR Q2=3.75MVAR Q3=17.25MVAR

I tillegg er det en trafikk på GMB, som beskrevet i kap. 5.2



Rev	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontr. av	Godkjent av
	PRINSIPPSKISSE ELEKTRISKE ANLEGG STRØMFORSYNING	Målestokk	Dato	20.01.94	
		%	Tegnet av	LSC	
			Kontr. av	J.M.F.	
			Godkjent av	J.F.	
		Arkiv bet			
		Erstatn for			
	OSLO S. - EIDSVOLL	Utarb av	NSB Ingeniørtjenesten Sterkstrømteknikk		
	NSB GARDERMOBANEN NSB GARDERMOBANEN A/S	Tegning nr	SKISSE 21	Rev	0

Representasjon av trafikk på eksisterende spor mellom Lillestrøm og Tangen.

En ny omformer på Jessheim, Gardermoen eller Eidsvoll vil i tillegg til å forsyne trafikken på Gardermobanen, også forsyne den eksisterende trafikken på strekningen Lillestrøm - Tangen.

For de eksisterende omformerene er det gjort målinger av belastningen, med dagens trafikk. Med en eventuell ny omformer, på Gardermoen eller Jessheim var det nødvendig å beregne belastningen fra dagens trafikk.

For å gjennomføre disse beregningene er det valgt ett tilfelle for eksisterende trafikk på strekningen. Det er valgt ett tilfelle med stor trafikk på strekningen, for å finne en belastningstopp i omformeren.

Strømmen i utgående linje mot Tangen, i Lillestrøm omf. er beregnet for å kontrollere at det valgte tilfellet representerer en høy belastning. Den beregnede verdien er sammenlignet med belastningstoppene fra tidligere målinger av enfase strøm på utgående linje mot Tangen.

- Det er utført en måling av strømmen i utgående linje mot Tangen i Lillestrøm omformer, i september 1990. Den viser toppbelastninger i området 600-700A.
- Beregnet verdi i utgående linje mot Tangen i Lillestrøm omformer er tilnærmet 650A. Det er da antatt en trafikk på strekningen Lillestrøm-Tangen som beskrevet i tabell 1.

Tabell 1 viser togplassering og effektforbruk.

Vedlegg 1 og 2 viser hvordan effektforbruket er beregnet.

Tog nr.	Plassering [km]	Effektforbruk		Beskrivelse/ togtype
		[kW]	[kVAr]	
18	22	1920	1440	Akselerasjon/BM69*3
19	25	4725	0	Akselerasjon/EL17
20	26	469.6	352.2	Fart i friluft/BM69*3
21	50	3844	2880	Akselerasjon/BM69*5
22	85	370	278	Fart i friluft
23	92	599	449	Fart i friluft

Tabell 1 :Effektforbruk/plassering

Beregning av effektbehov i Lillestrøm omformerstasjon.

Totalbelastningen for Lillestrøm omformer, (vist i tabell 8.1, kap. 8.1) er beregnet med en metode som beskrevet under.

En ny omformer på Gardemoen, Eidsvoll eller Jessheim vil avlaste Lillestrøm omformer både for trafikken på Gardermobanen, Hovedbanen og trafikken i Oslo området. For å få et mål på hvor mye Lillestrøm omformer avlastes er det for alternativ 1-5 utført følgende beregninger:

I Med en omformerplassering som vist i vedlegg 4 er belastningen i Lillestrøm omformer beregnet. Det er i beregningen benyttet en trafikk på Gardermobanen som beskrevet i kap. 5, en belastning på hovedsamleskinnen på Oslo S som beskrevet i kap. 8.2 og en trafikk på strekningen Lillestrøm-Tangen som beskrevet i vedlegg 11.

II Belastningen i Lillestrøm omf. er også beregnet med en ny omformer på enten Gardermoen, Eidsvoll eller Jessheim, i tillegg til omformerplasseringen vist i vedlegg 4, men med samme trafikk/belastning som under I.

En sammenligning av resultatene under I og II angir hvor mye Lillestrøm omf. avlastes for henholdsvis alternativ 1-5 med en ny omformer.

Beregningseksempel for alt.5

Med metoden beskrevet under I er belastningen i Lillestrøm omformerstasjon beregnet til, (sum enfasestrøm):

$$I_{Total}=3137A \quad (12.1)$$

Med metoden beskrevet under II er belastningen i Lillestrøm omformerstasjon beregnet til, (sum enfasestrøm):

$$I_{Total}=2061A \quad (12.2)$$

%-vis avlastning i Lillestrøm omf. som følge av ny omformer på Jessheim er som følger:

$$100\%-(2061/3137)*100\%=34\% \quad (12.3)$$

Med kretsen vist i vedlegg 4 er tilleggsbelastningen fra Gardermobanen i Lillestrøm omformer beregnet til 2200A. Tilleggsbelastningen i Lillestrøm omformer er et økt effektuttaket, som følge av trafikken på Gardermobanen og 2 nye spor mellom Oslo S og Lillestrøm. Det vil si at i denne beregningen er tilleggsbelastningen i Lillestrøm omformer beregnet uten eksisterende trafikk på strekningen Lillestrøm-Tangen og uten omformer på Jessheim.

Maksimalt målt belastning i omformerer er 1500A

Total belastning i Lillestrøm omf. med ny omformer på Jessheim blir som følger:

$$I_{Enfase} = (2200 + 1500) * (1 - 0.34) = 2442A. \quad (12.4)$$

PROGRAM DESCRIPTION

ACCAN is suitable for load flow calculations, short circuit calculations, and for other types of ac circuit analysis, also those involving mutual reactances (such as the reactor on Fig. 1). There are no restrictions on how the circuits are connected.

The classical load flow solution methods consider only voltages to be the primary variables. This gives a minimum of unknowns in the equations, and helps in being able to solve large problems on comparatively small computers. However, it reduces the flexibility in the specification of the problems.

In ACCAN, both node voltages and branch currents are considered as primary variables. In load flow calculations, generators are represented as voltage or current sources, and loads either as impedances or current sources. Values of current in the current sources depend upon how the problem is formulated, and only rough estimates may be known initially. Therefore, an iterative solution is often required. Adjustments are made by the program on the basis of results from previous iterations.

At each iteration a complex coefficient matrix is set up relating the variables to each other on the basis of node and branch equations. The matrix equation is solved directly by Gaussian elimination, immediately yielding values of all the variables.

A slack bus generator is modelled as a simple voltage source with a fixed specified voltage. Other generators can be modelled as current sources in a variety of ways. Active and reactive power can be specified in the generator itself, or into or out of a relevant transmission line. The reactive power can also be adjusted automatically by the program within specified limits, to give a specified voltage either at the generator bus, or in an adjacent node.

Loads can be fixed impedances or current sources. Active and reactive power can be specified, independent of voltage.

Shunt reactors and capacitors can also be modelled as current sources. The program can determine the reactive power within specified limits to give a specified voltage at the reactor or capacitor bus.

If other objectives are to be met, the possibility also exists for the program user to program his own voltage and current sources as functions of other variables in the circuit. If a function is linear, the equation is simply added to the linear node and branch equations, and the overall solution method is not affected. If it is non linear, the value of the function is taken from the last iteration, or from the last two iterations. This is a very powerful feature, and can be used also to solve problems which are not at all or only partly circuit problems, but governed by similar equations.

Transmission lines can be either simple impedances or π -equivalents, specified in per unit or absolute values. Tap changing transformers can have the tap setting determined by the program, to give an approximate specified voltage at a relevant node.

From a given set of input data, transmission lines can be disconnected simply by changing a code. Systematic input data modification can be made by a small subroutine.

Normal output includes node voltages, branch currents, active and reactive power into and out of branches, and deviations from specified voltages and power. Sums of active and reactive power are given for generation, load, transmission lines and shunt reactors and capacitors.

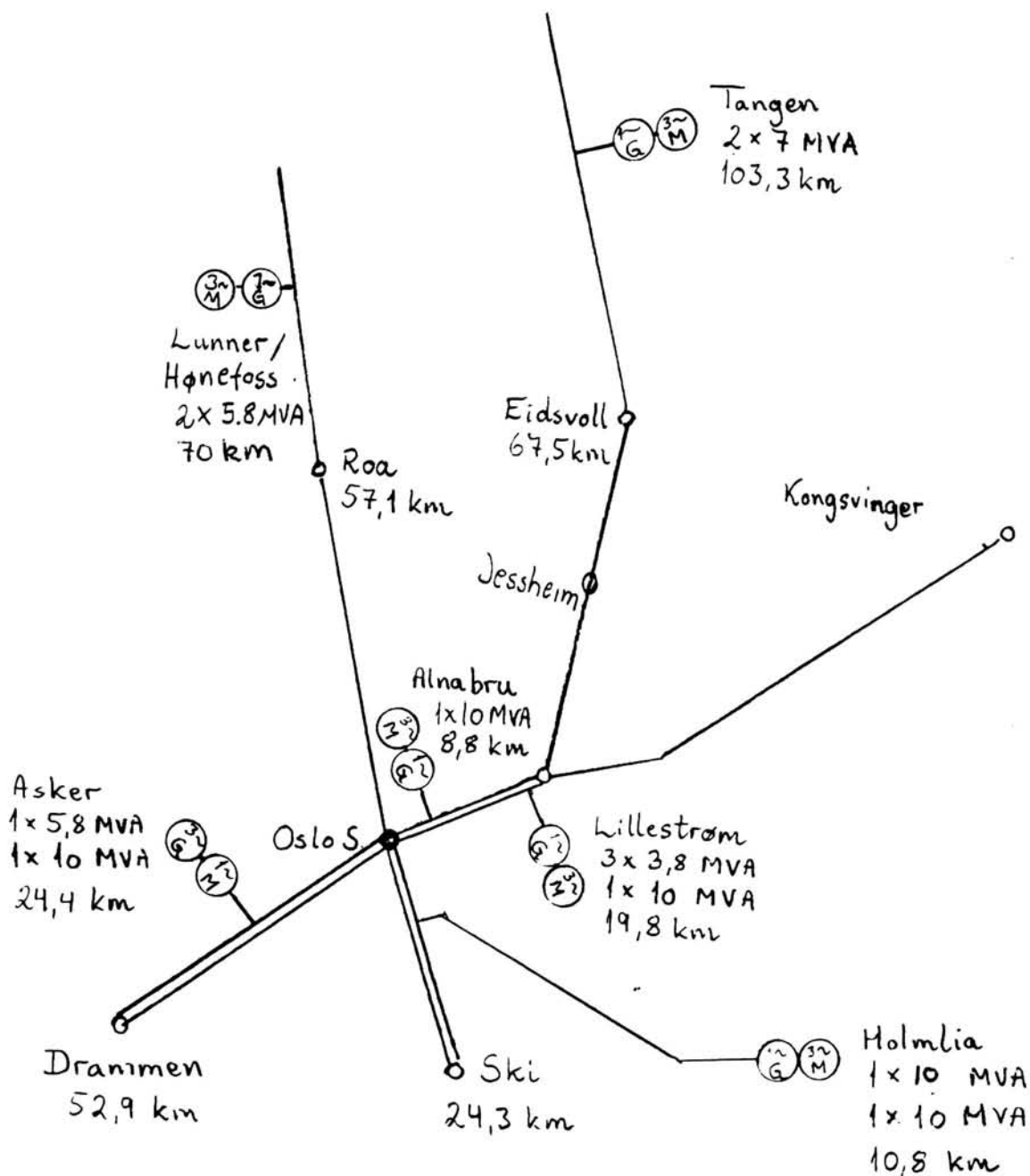
If desired, the program user can program additional output in a subprogram acting as a post processor. Examples are sums of active and reactive power in parts of a network, and checking of transmission line currents versus specified limits.

A post processor also permits graphical output in the form of a complete or partial connection diagram, or a load flow graph, with the results of the calculation written in. All the user must do is to make up a small input file with plotting instructions for each branch and node, or in the case of a load flow calculation, for each bus and transmission line. An input program is available for this purpose.

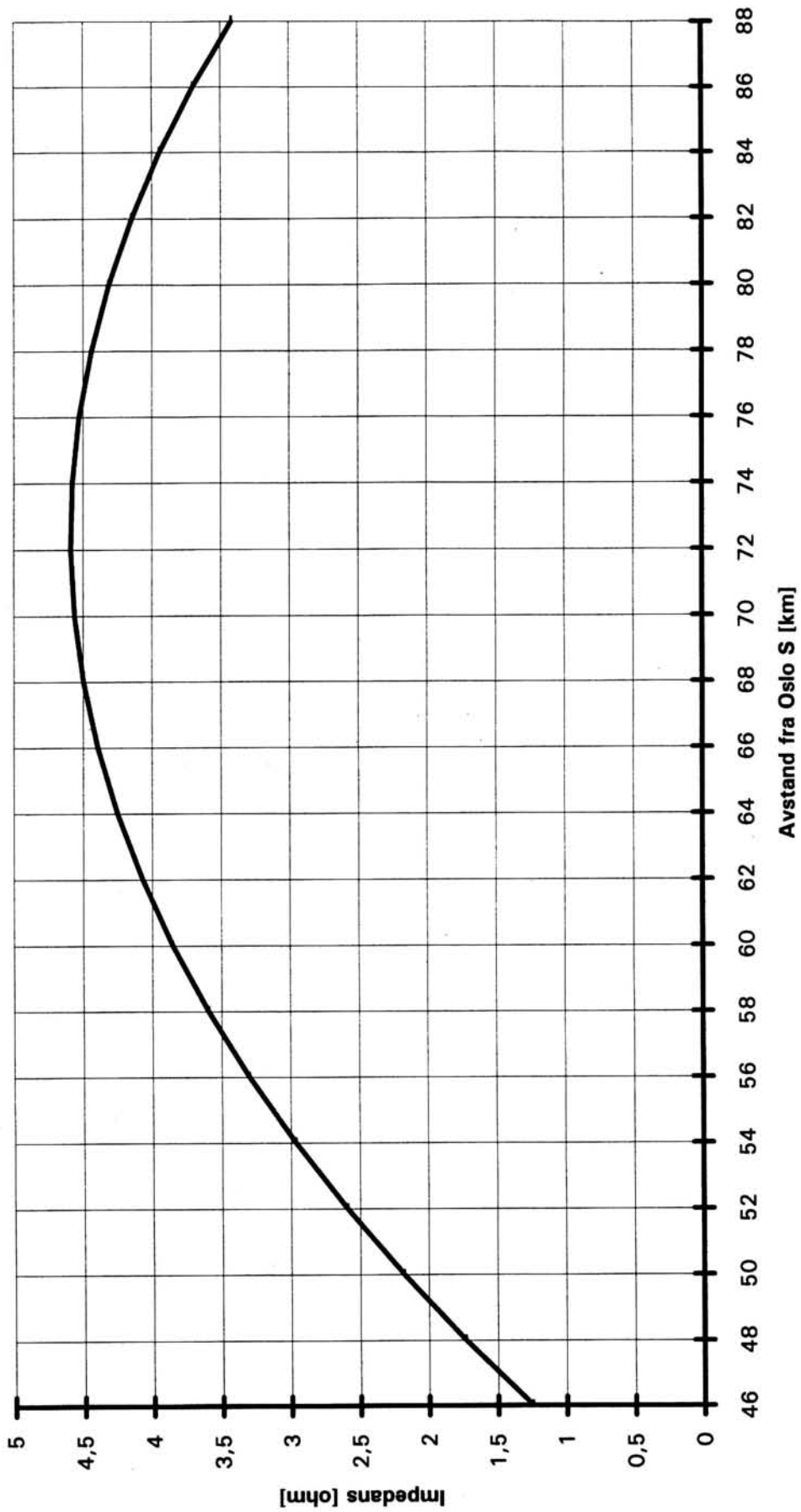
If the graph is small enough, so that no significant reduction in size occurs, plotting can be made on the printer. However, plotting on the plotter permits larger size (A3 or B), and gives much better quality. Plotting on the screen is also possible, as explained earlier, but here often only part of the graph is shown.

The program is limited to 225 variables (node voltages and branch currents), which in a load flow problem corresponds to about 50-60 busses.

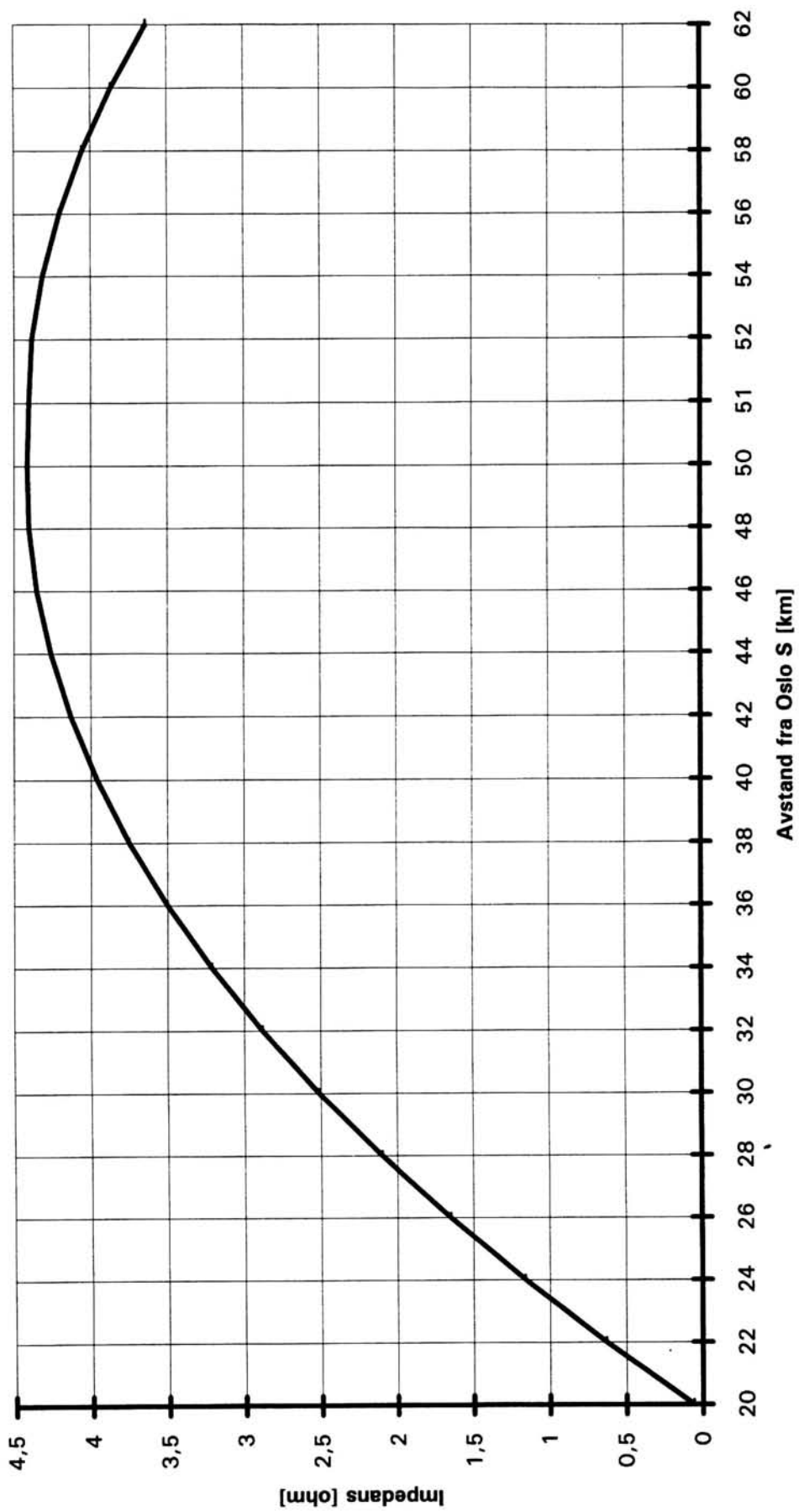
Plassering av omformerstasjoner som har inn- virkning på Gardermobanen



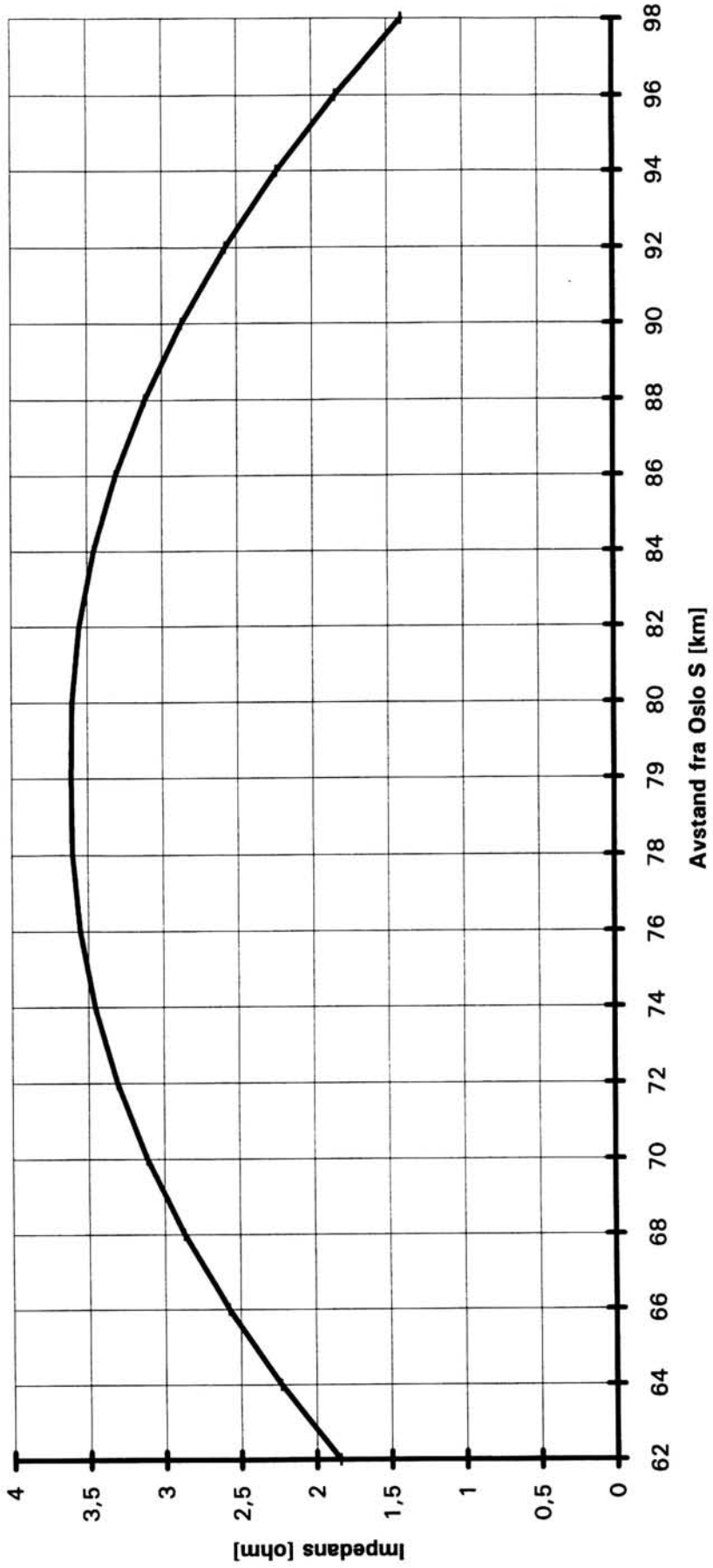
Impedans - Strekning Lillestrøm/Tangen (Alt. 1)

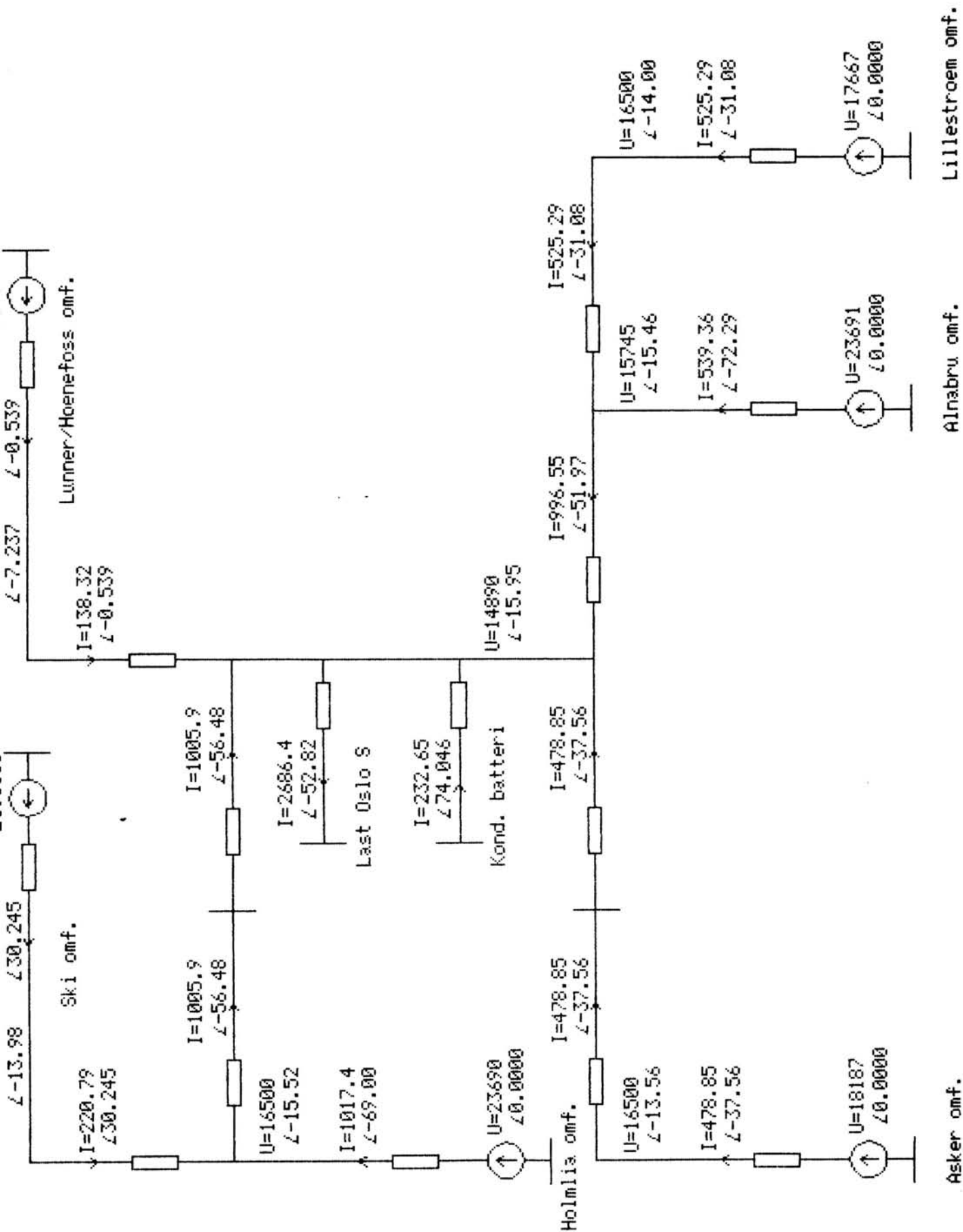


Impedans - strekning Lillestrøm/Eidsvoll (Alt. 2)

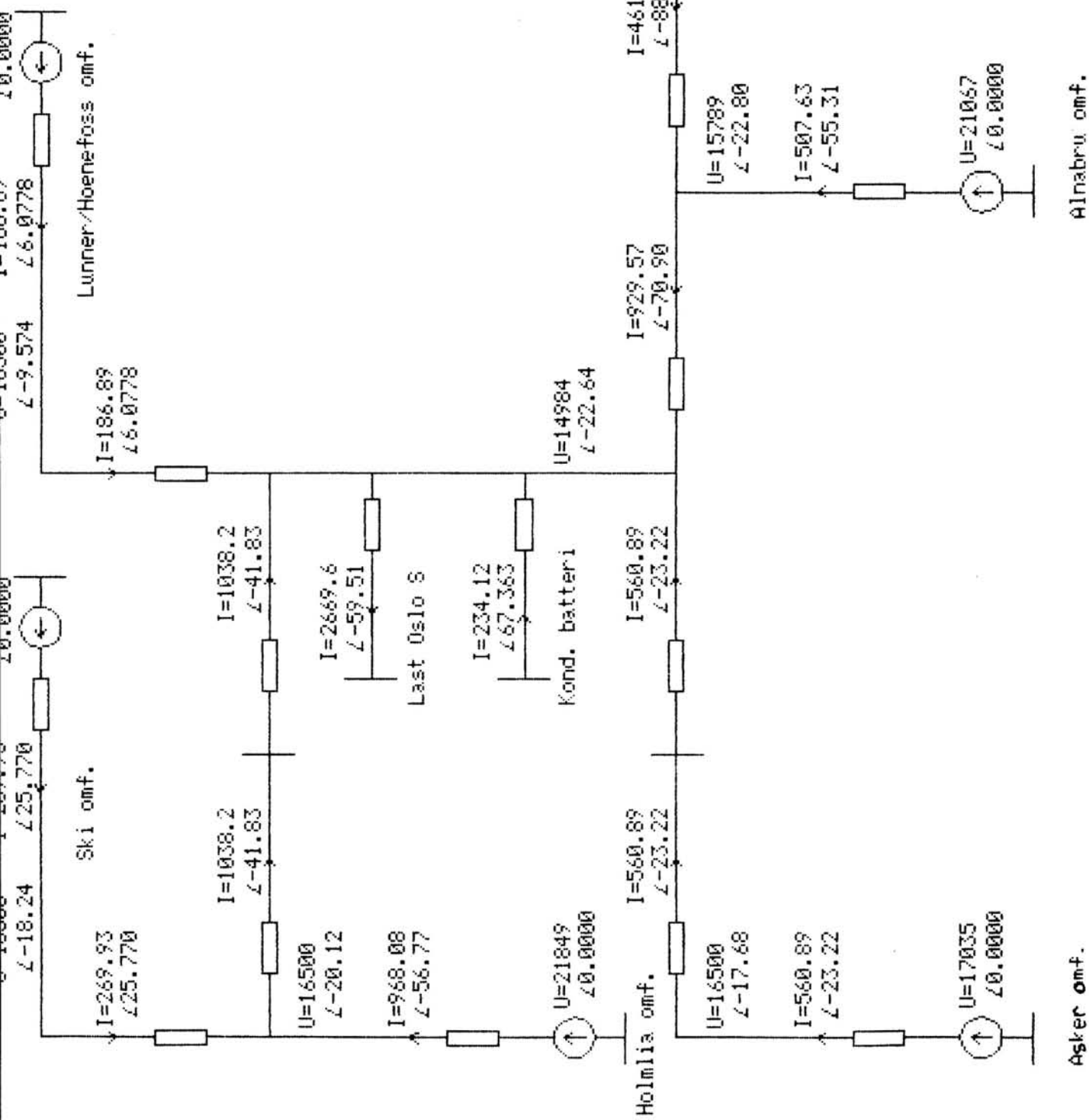


Impedans - strekning Eidsvoll/Tangen (Alt. 2)

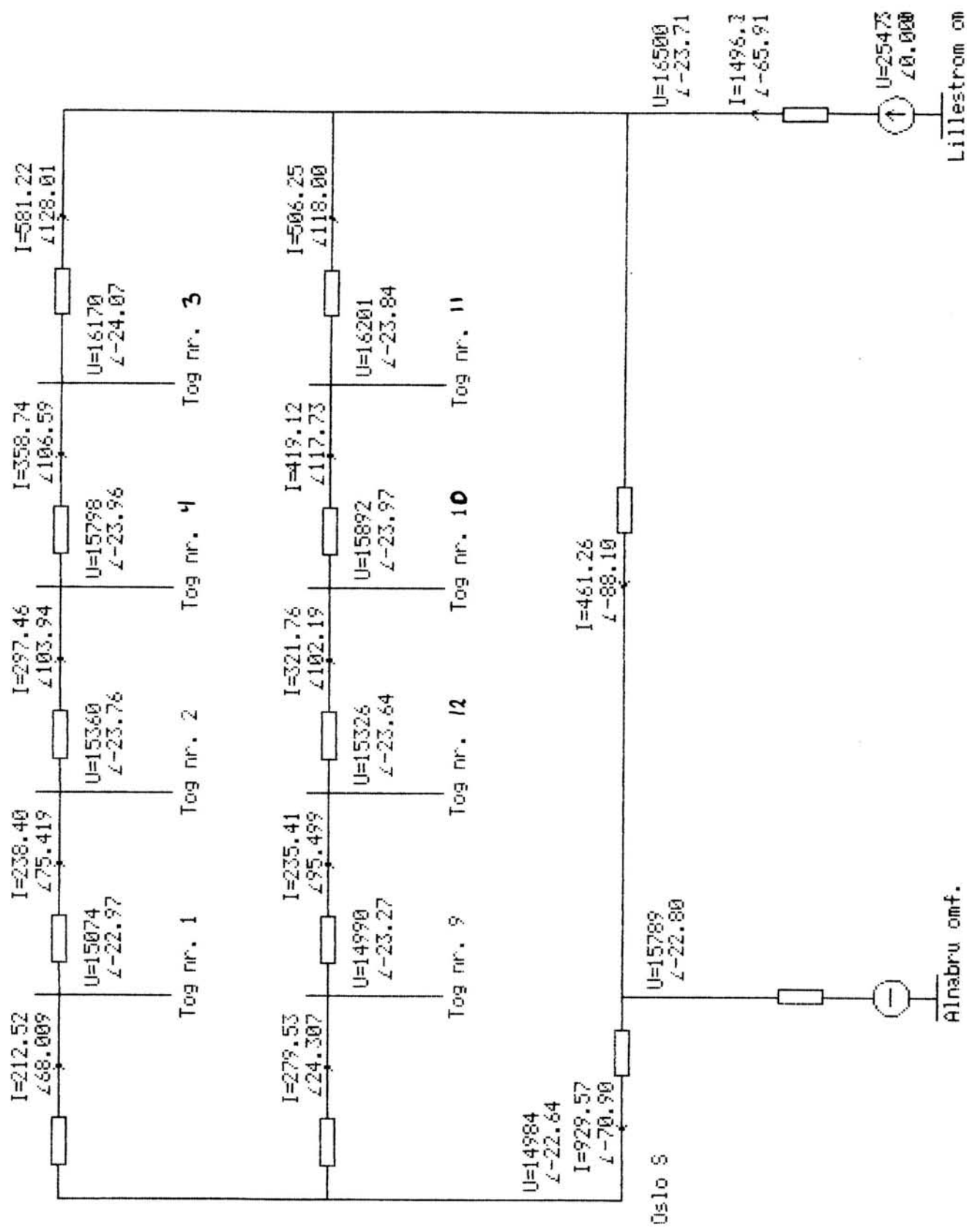




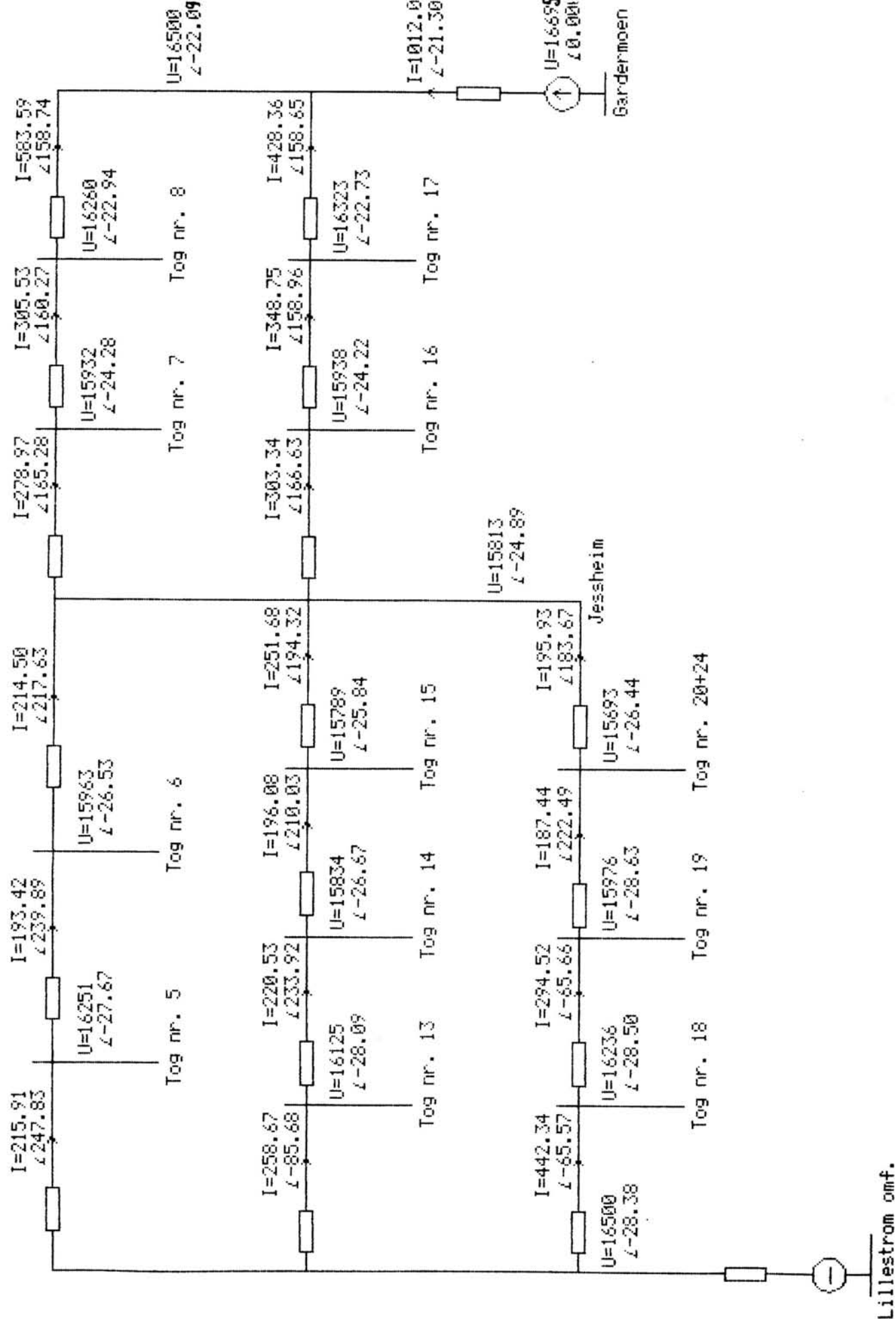
Beregning av spenningsfall på hovedsamleskinne, Oslo S.



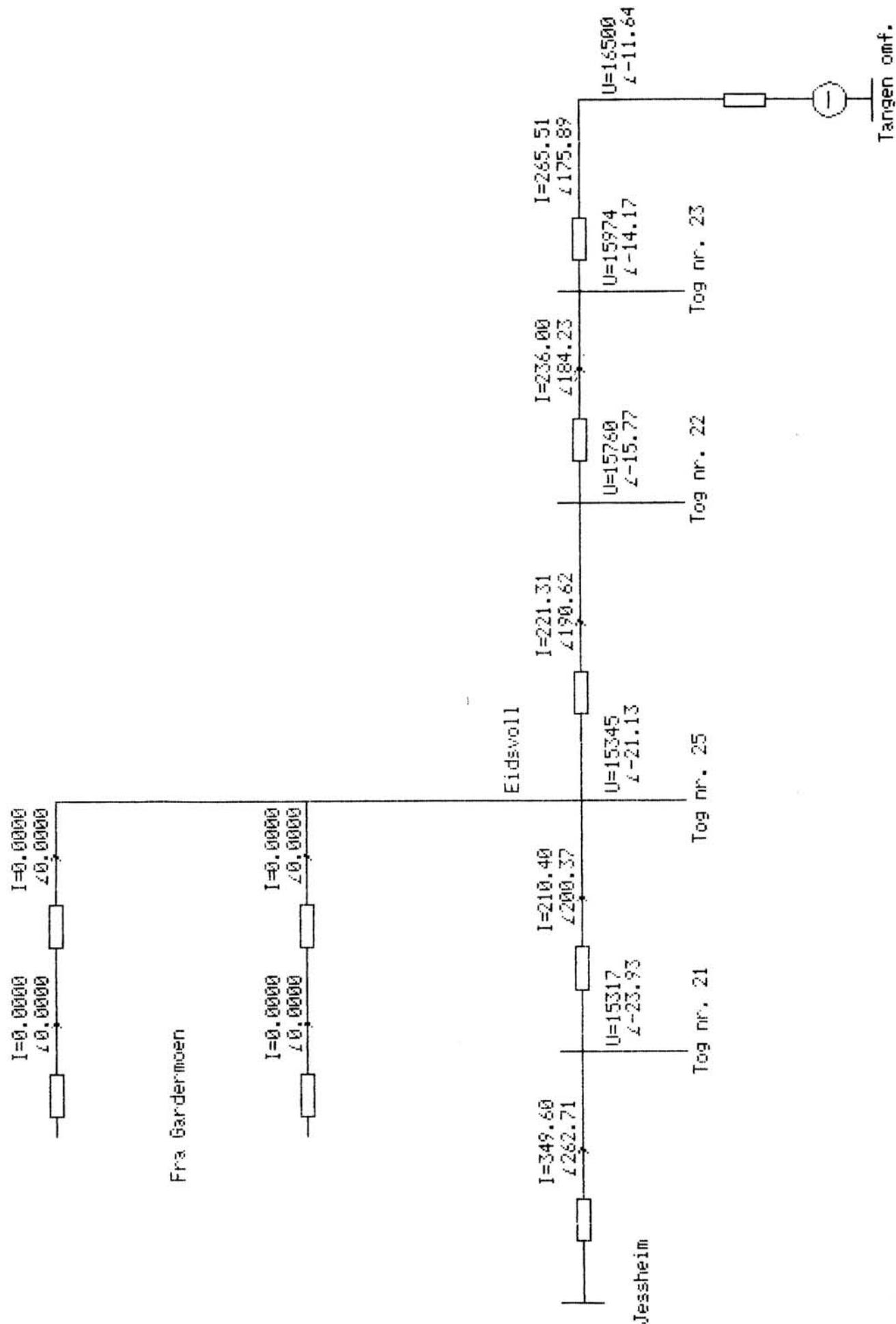
Beregning av spenningsfall på hovedsamle-
 skinne, Oslo S.
 Dobbeltspolet mellom Oslo S-Lillestrøm
 er vist i vedlegg 18.3



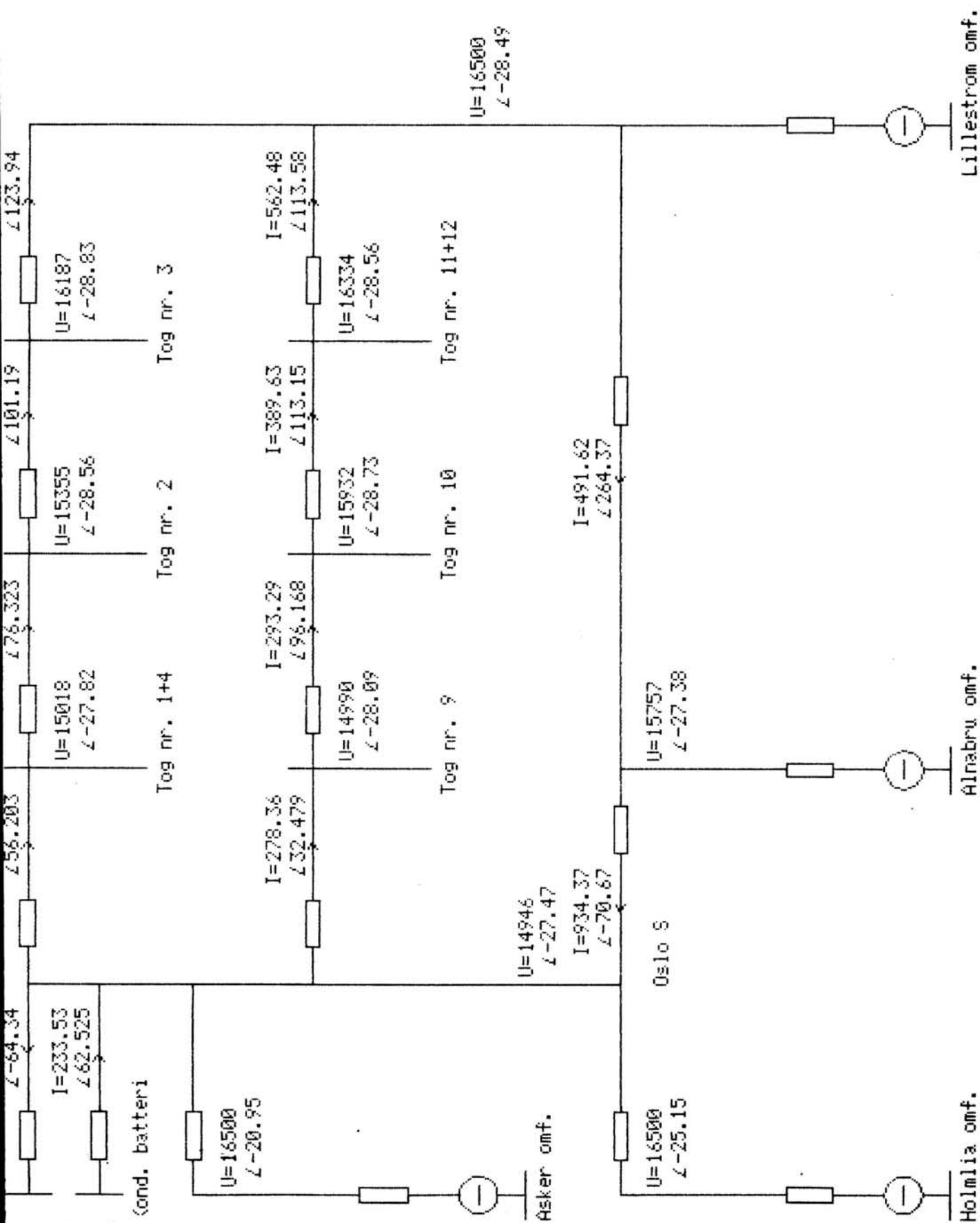
Beregning av spenningsfall på hovedsamle-
 skinne, Oslo S.
 Dobbeltsporet mellom Oslo S-Lillestrøm



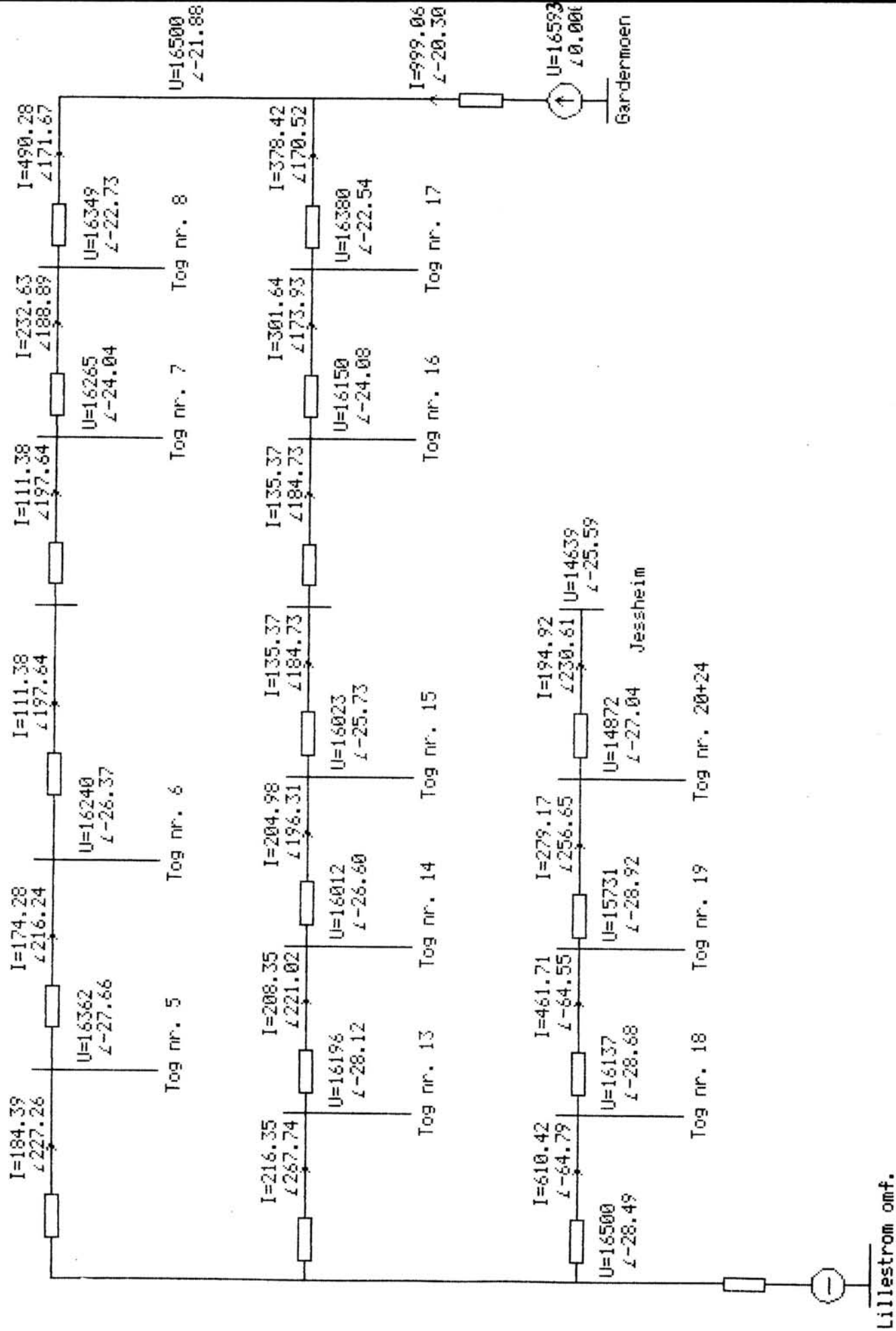
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer. Alternativ 1



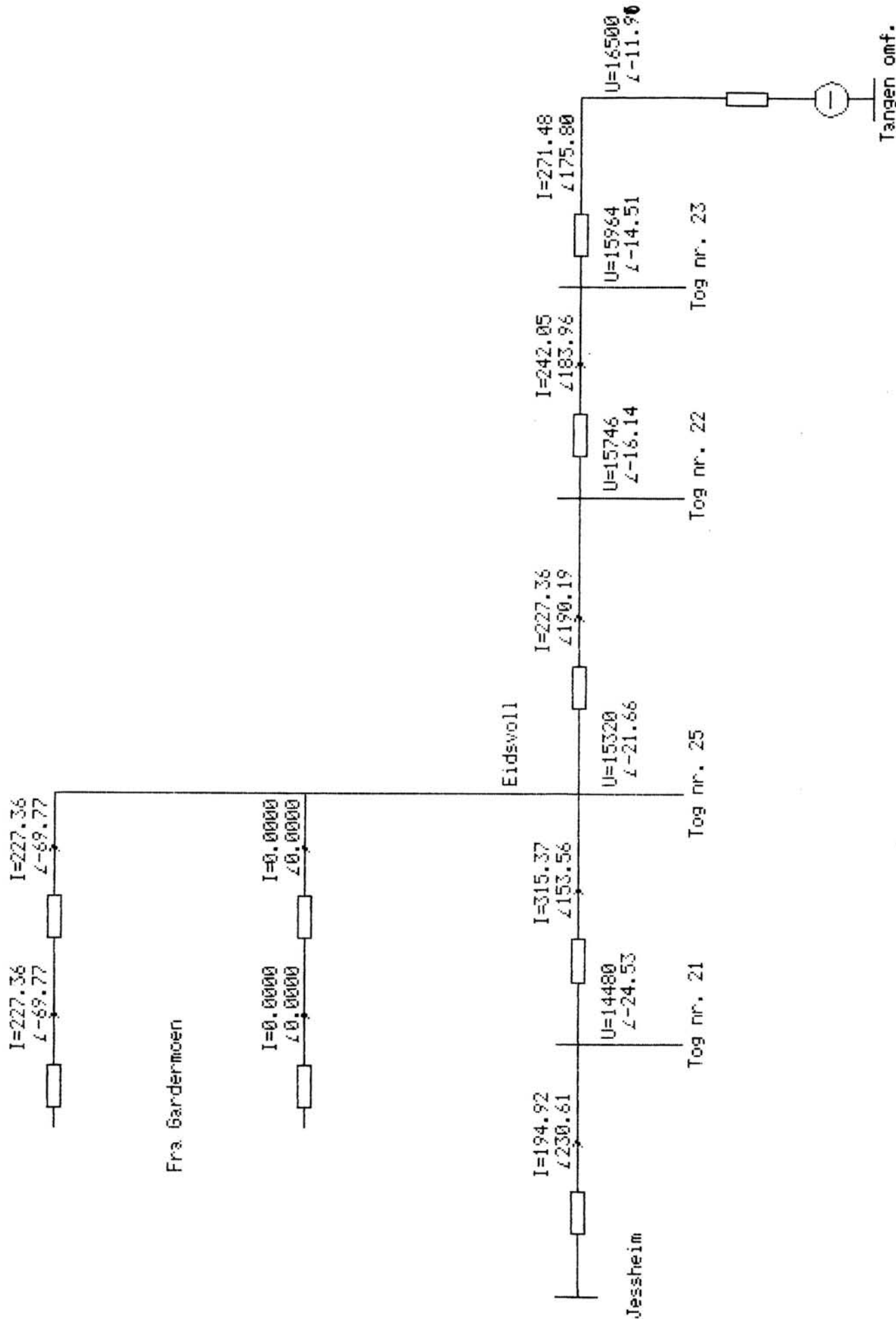
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer. Alternativ 1



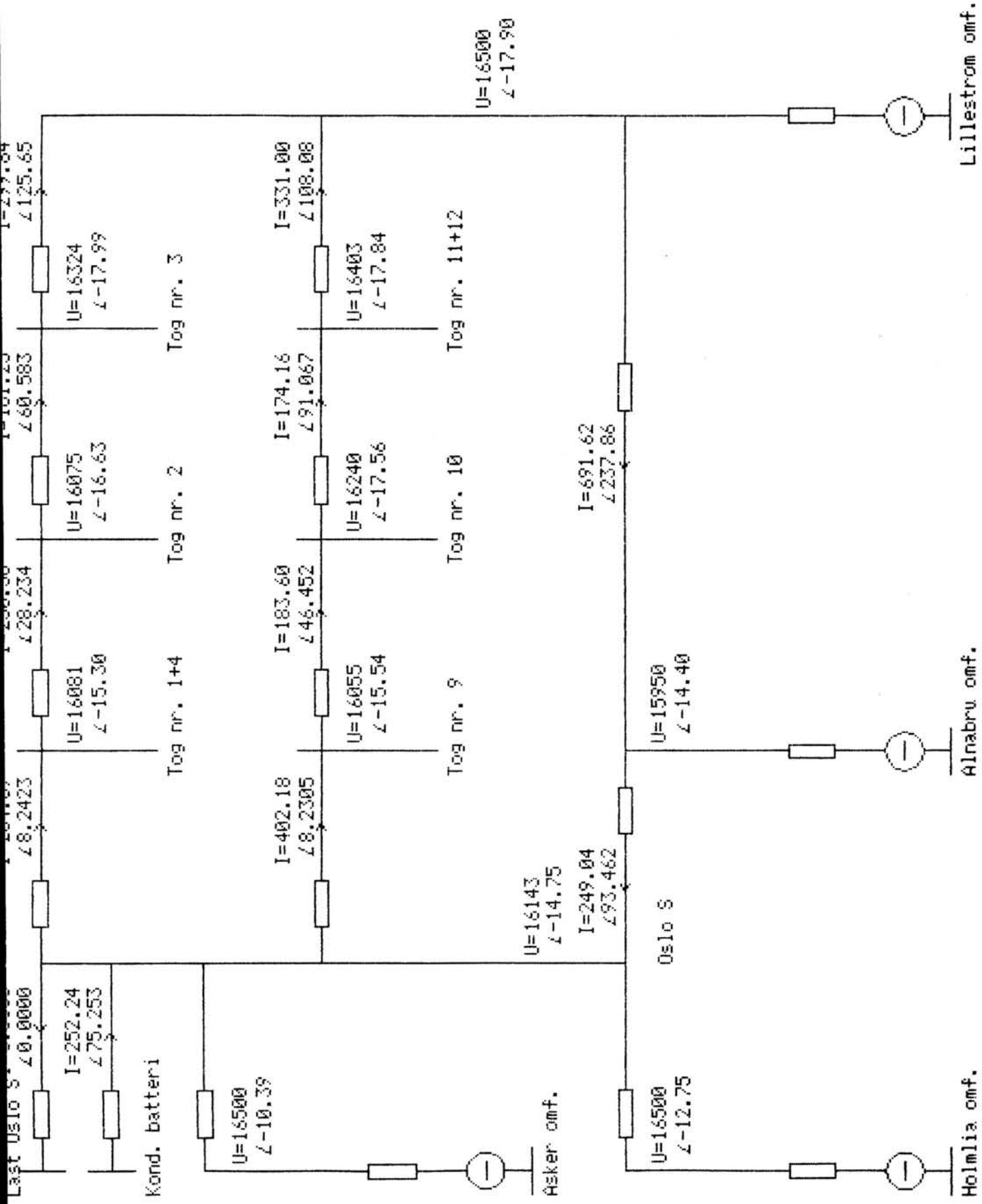
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer. Alternativ 2



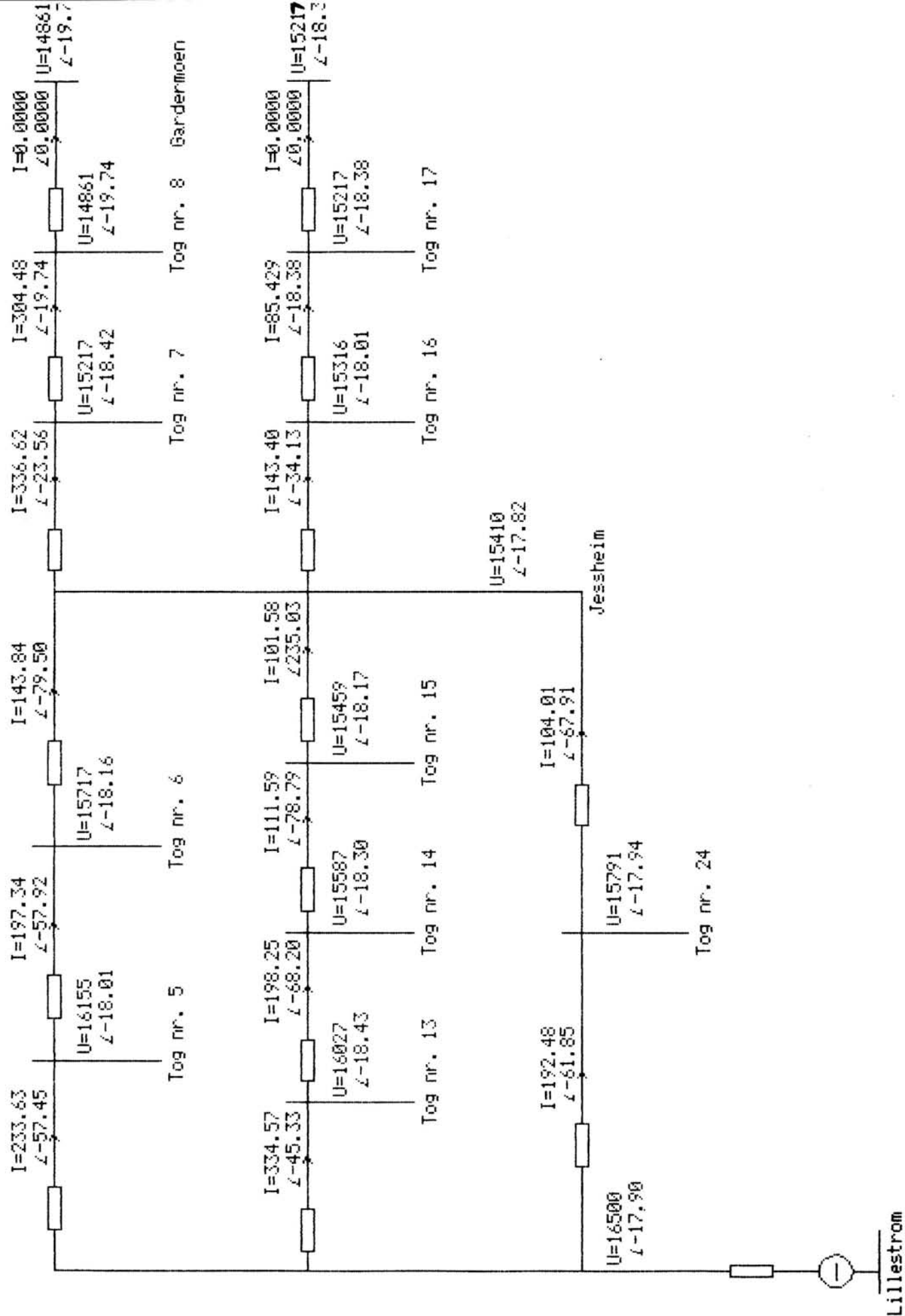
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer. Alternativ 2



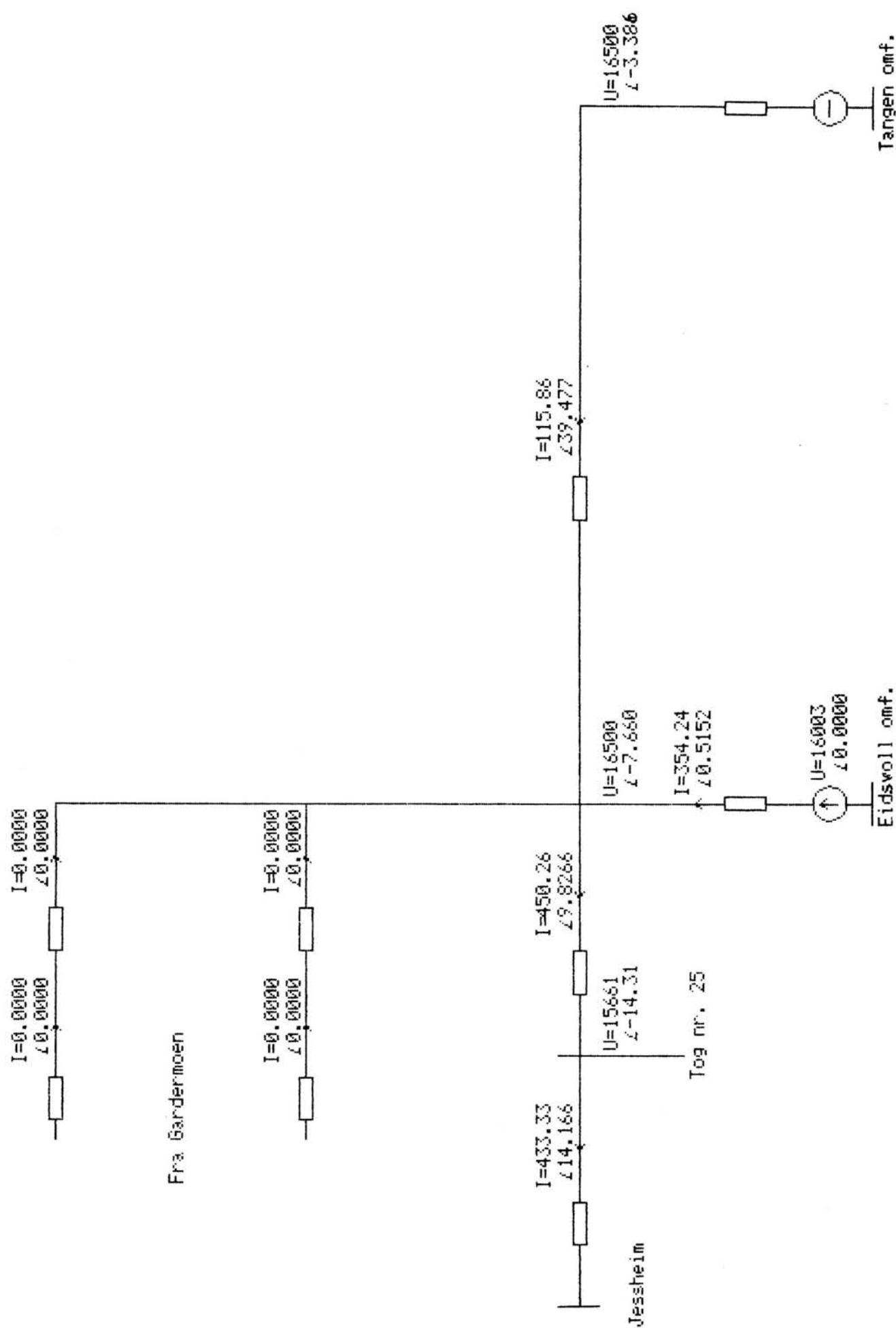
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Gardermoen omformer. Alternativ 2



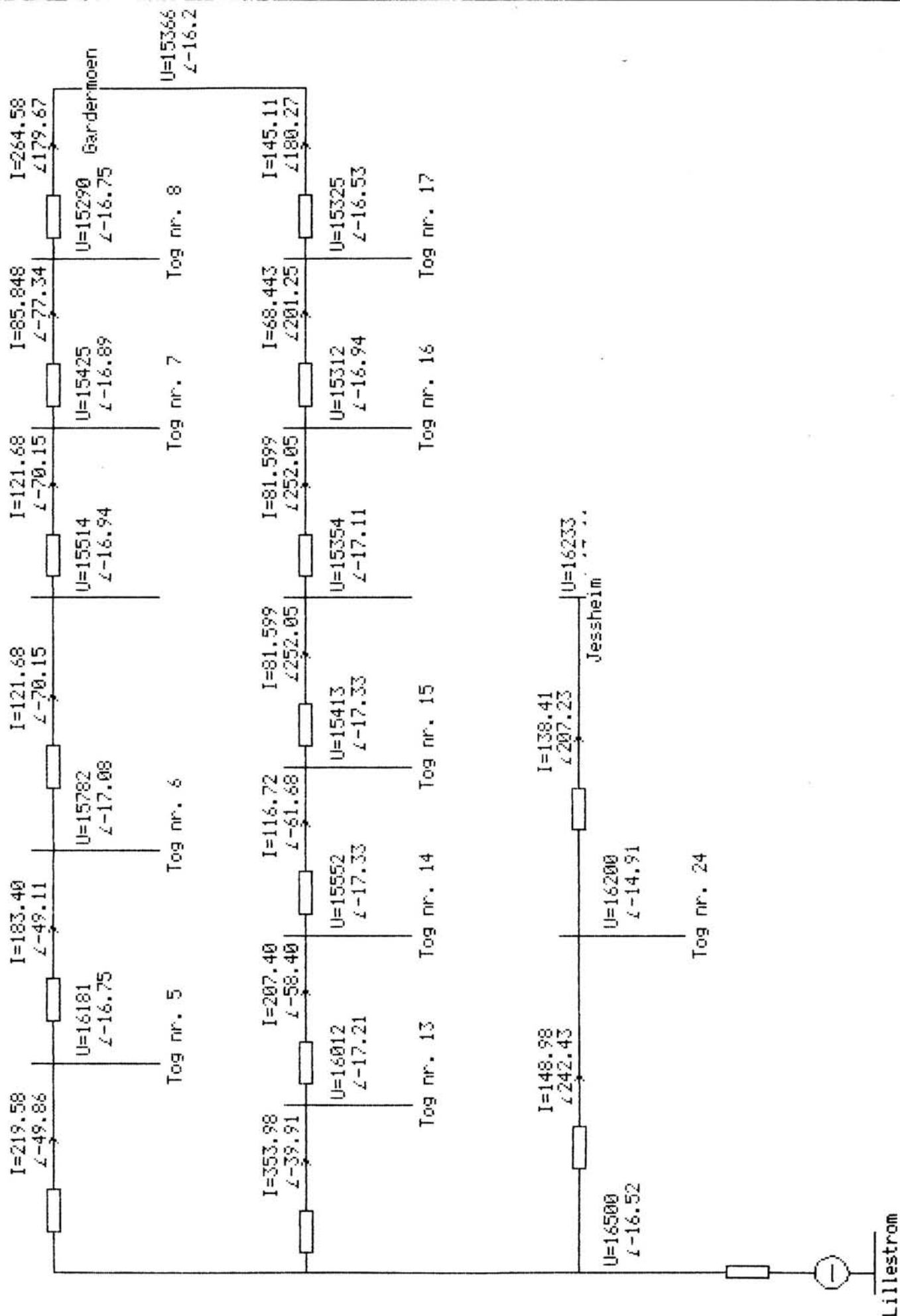
Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer. Alternativ 3



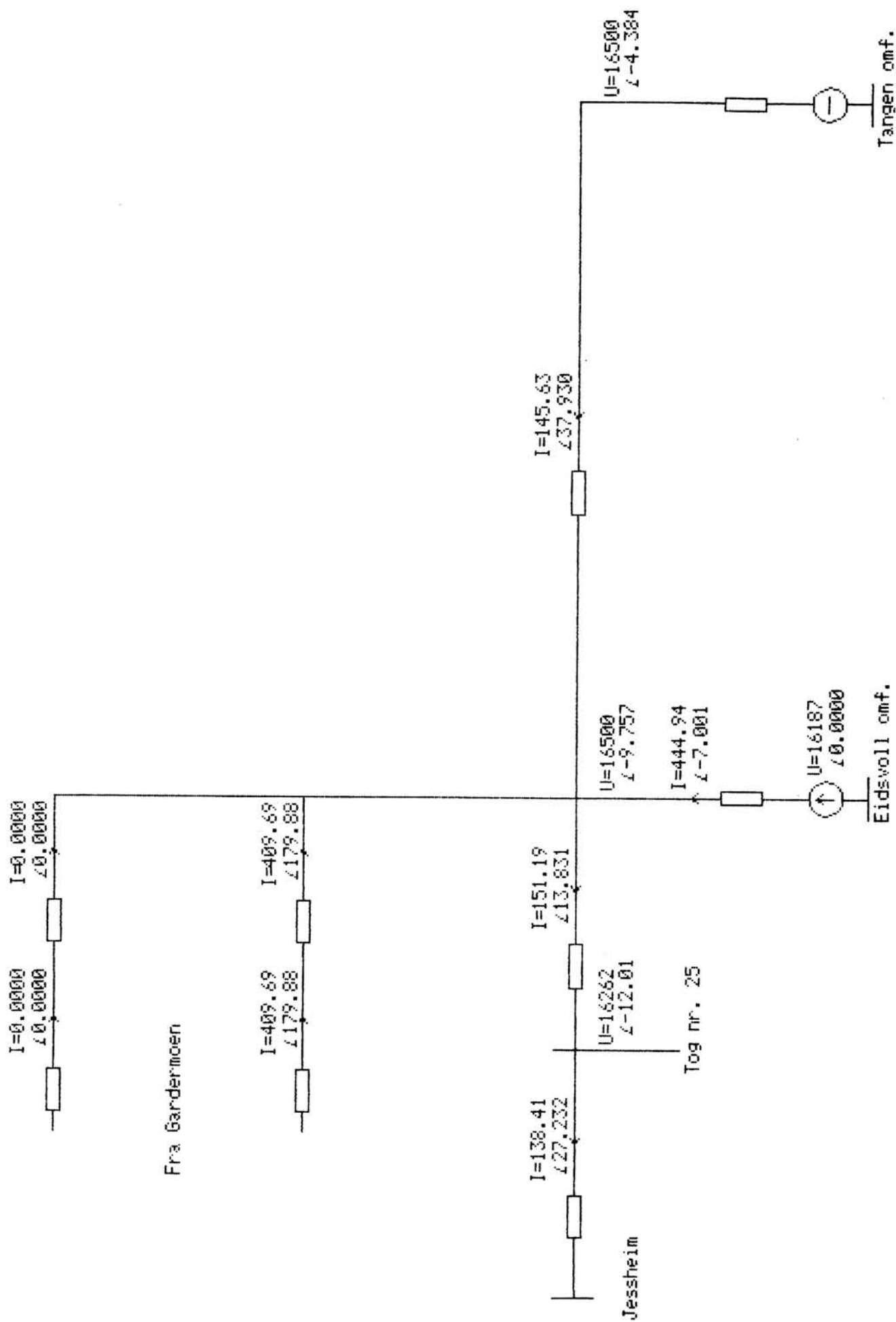
Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer. Alternativ 3



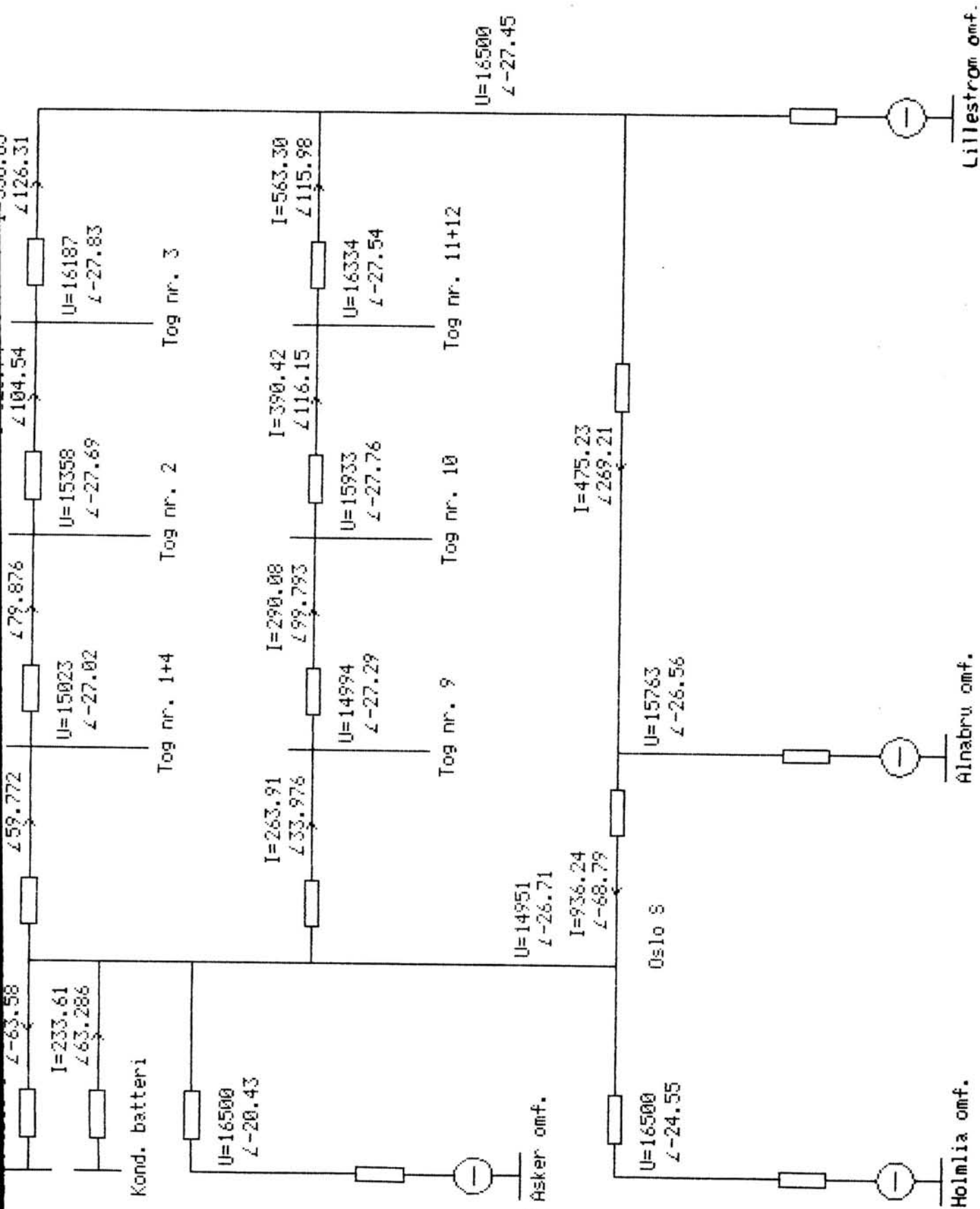
Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer. Alternativ 3



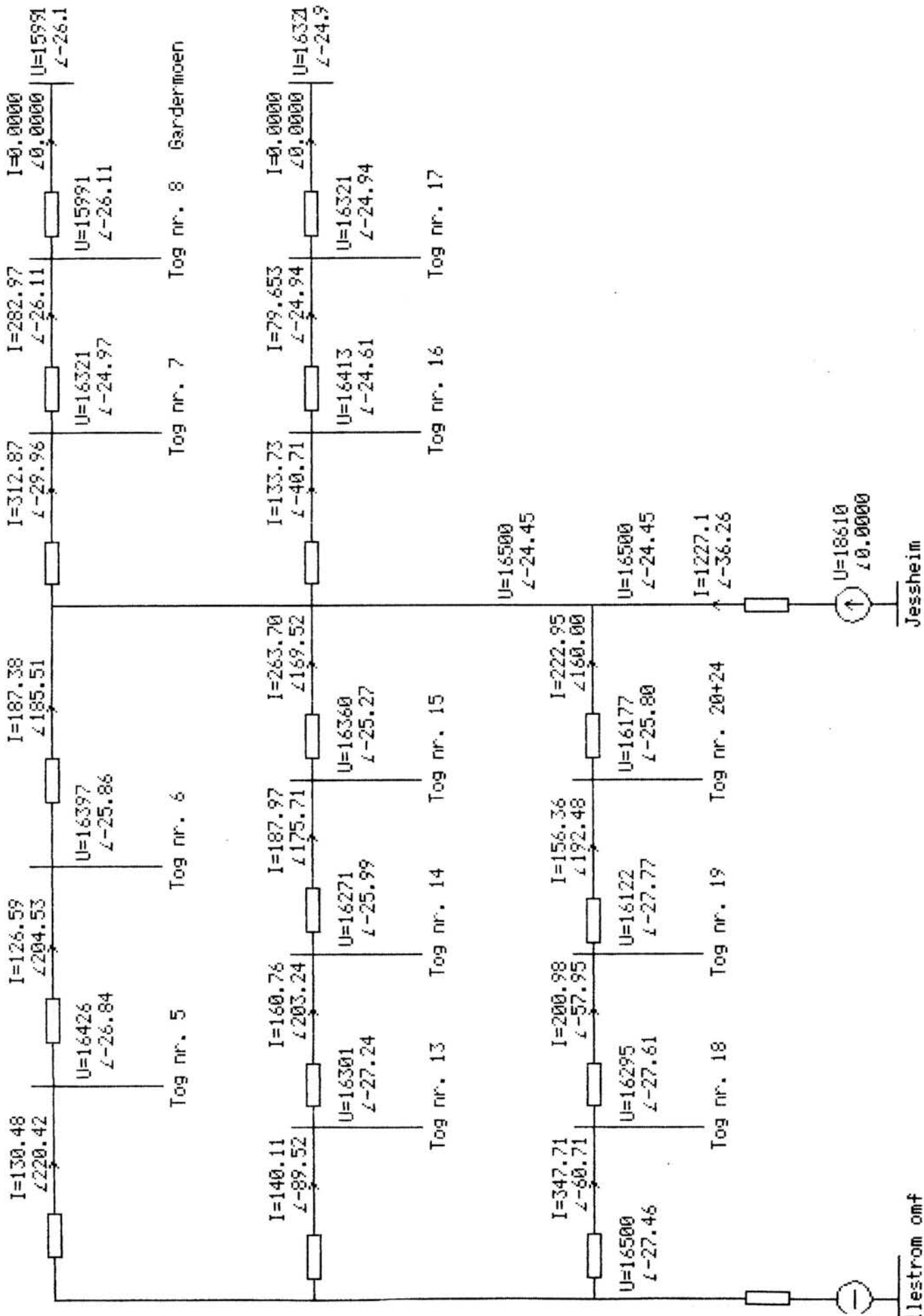
Togspenning, strøm i kontaktledning og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer. Alternativ 4



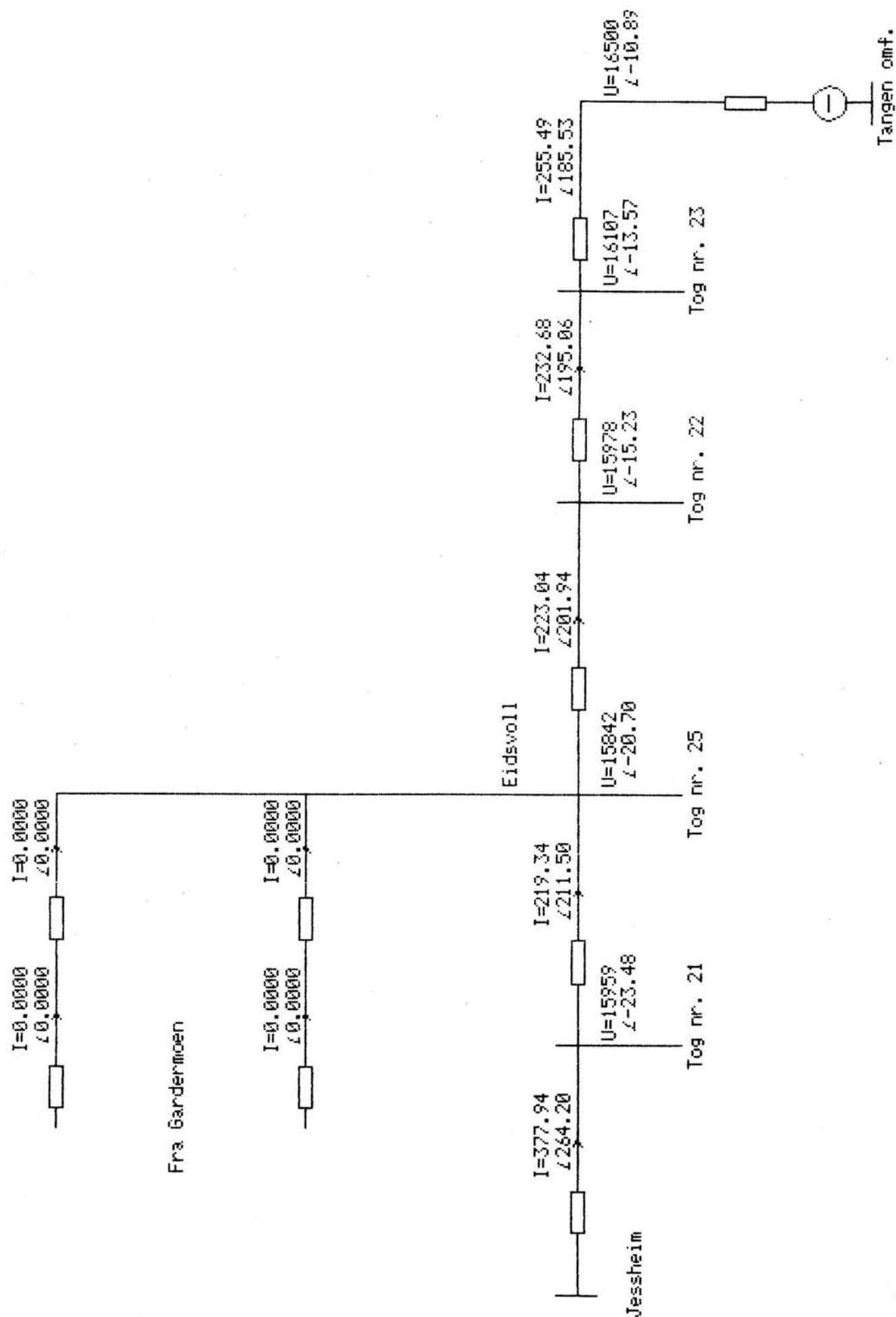
Togspenning, strøm i kontaktledning og
og tilleggsbelastning i Eidsvoll omformer.
Alternativ 4



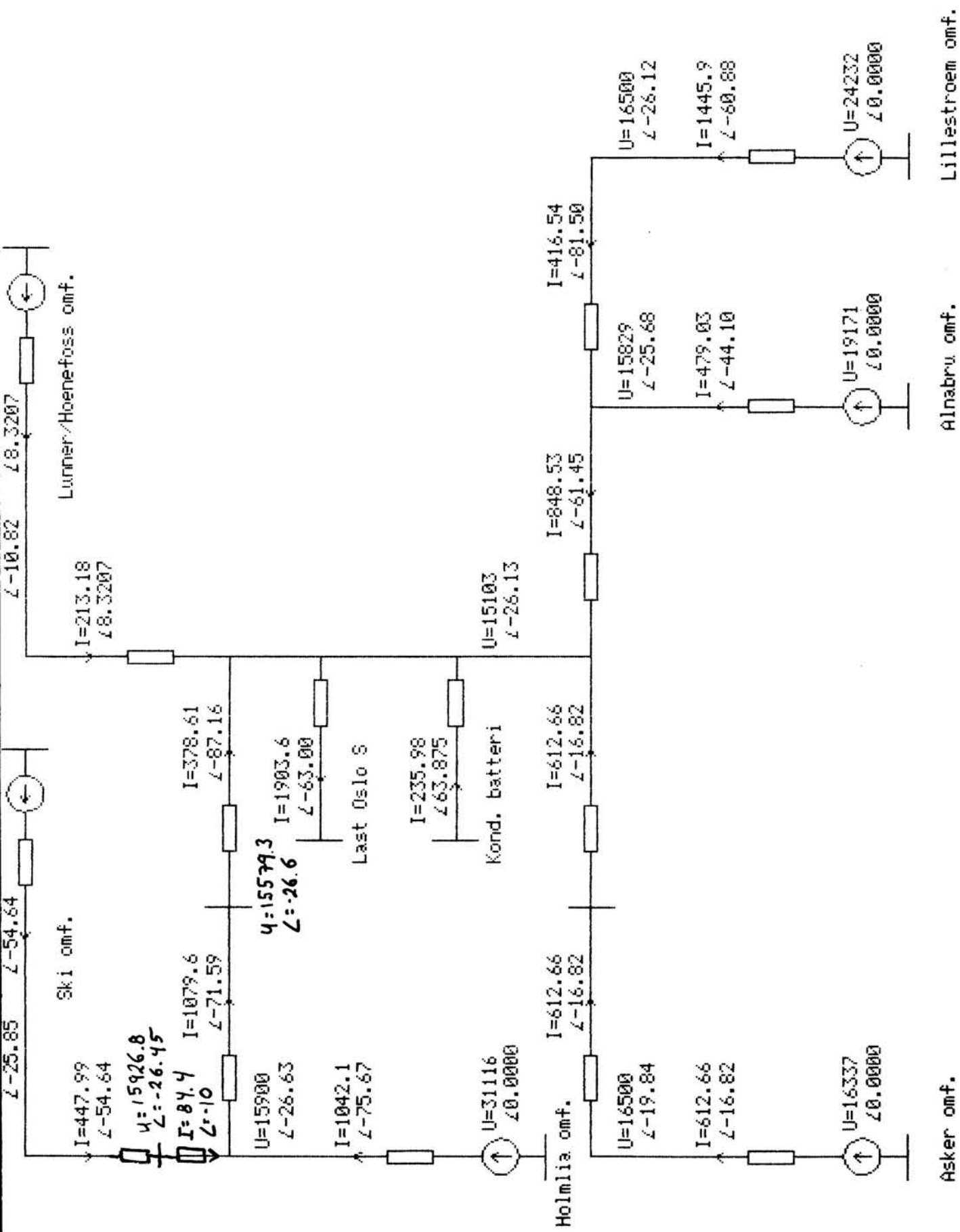
Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Jessheim omformer. Alternativ 5



Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Jessheim omformer. Alternativ 5



Togspenning, strøm i kontaktledning og totalbelastning i Jessheim omformer. Alternativ 5



Beregning av effektflyt ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

NSB Bane, Ingeniørtjenesten

Et ledende senter for kunnskap og erfaring i jernbaneteknikk

Ingeniørtjenesten er en egen resultatenheter i Banedivisjonen. Vi tilbyr rådgivende ingeniørtjenester innenfor et vidt spekter av fagfelt knyttet til infrastruktur med spesielt høy kompetanse innen våre hovedfagfelt- og produktområder.

Dyktige medarbeidere som «kjenner NSB», gjør at vi framstår som en attraktiv og konkurransedyktig samarbeidspartner, både ved begrensede oppgaver med krav til spesialkompetanse, og ved store tverrfaglige prosjekter.

Vi anvender datanettbaserte hjelpemidler for beregning/tegning/tekstbehandling/prosjektstyring og prosjektrettet arbeidsform med interne kvalitetssikringsrutiner.

Vår hovedoppdragsgiver er Banedivisjonen, men vi står til tjeneste for alle divisjoner i NSB, og vi kan også påta oss oppgaver for eksterne oppdragsgivere.

Ingeniørtjenesten har ca. 100 ansatte. Ved større prosjekter inngår vi samarbeidsavtaler med underleverandører etter behov.

Jernbaneverket

Biblioteket

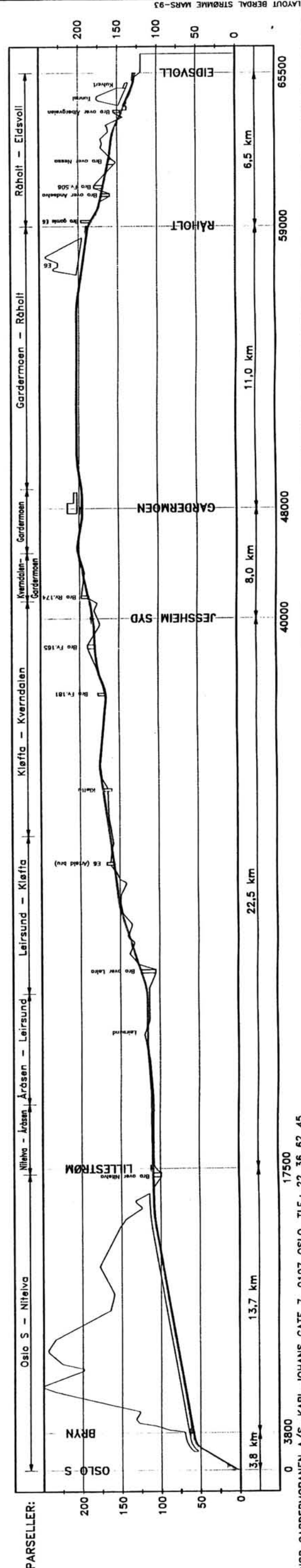
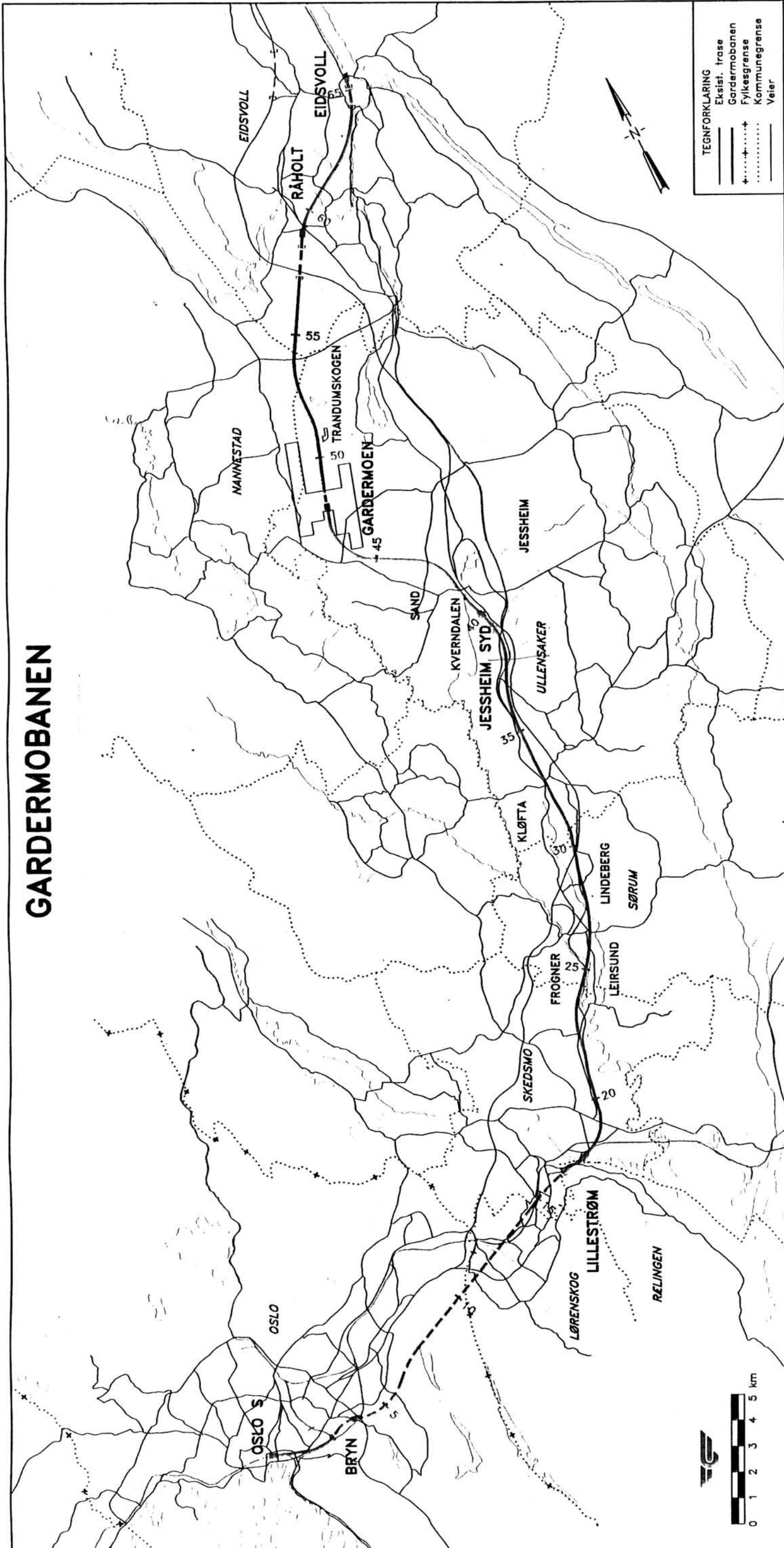
JBV



09TU09994

71594428

GARDERMOBANEN



Vedlegg 17