
1 HENSIKT OG OMFANG	2
1.1 Innledning.....	2
2 AT-LEDERE	4
2.1 Plassering og oppheng av ledere	4
2.1.1 Luftledninger	4
2.1.2 Kabler	6
2.2 Systemimpedans	6
2.2.1 Impedans for PL NL og seksjonert kontaktledning.....	8
3 AUTOTRANSFORMATOR	11
3.1 Plassering av autotransformatorer	11
4 SEKSJONERING AV NETTET	14
4.1 Seksjonering av kontaktledningsnett	14
4.2 Seksjonering av AT-nettet	16
5 ELSIKKERHET	17
6 ISOLASJONSKOORDINERING	18
6.1 Isloasjonsavstander	18
6.2 Isolatorer	19
6.3 Overspenningsvern	19
7 MEKANISK DIMENSJONERING AV MASTER.....	20
8 VERN PÅ UTGÅENDE LINJEAVGANGER.....	21
8.1 Distansevern	21
8.2 Overstrømsvern	21
8.3 Seksjoneringsstasjoner	21
8.4 Dødseksjoner	22
9 RETURKRETS	23
9.1 Kobling til sporet	23
10 STABILITET I BANESTRØMFORSYNINGEN	24
11 SPESIELLE REGLER FOR BYGGING AV KL-ANLEGG MED AT-SYSTEM	25
12 SPESIELLE KRAV TIL VEDLIKEHOLD AV KL-ANLEGG MED AT-SYSTEM	27
13 FORBEREDELSE TIL AT-SYSTEM	28

1 HENSIKT OG OMFANG

Dette vedlegget beskriver spesielle tekniske krav med veiledning til prosjektering, bygging og vedlikehold av autotransformatorsystem (heretter kalt AT-system) med positivleder (heretter kalt PL) og negativleder (heretter kalt NL) og seksjonert kontaktledningssystem.

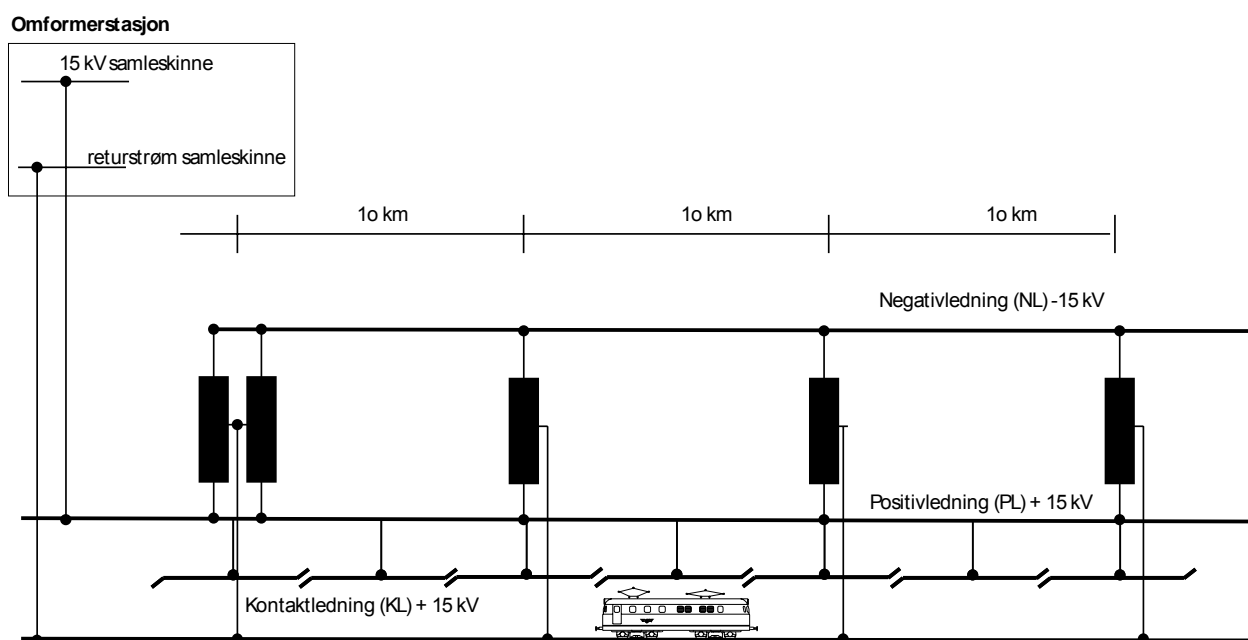
Vedlegget omfatter ikke komplette krav til alle berørte deler av et AT-system med seksjonert kontaktledningsanlegg, eksempelvis slik som kontaktledningen som system eller jordingsanlegg. Her er det forutsatt at eksisterende krav i teknisk regelverk gjelder.

Kun der det er nødvendig av hensyn til AT-systemet med seksjonert kontaktledning er nye krav tatt inn i dette vedlegget.

En utfyllende rapport med bakgrunn for kravene i dette vedlegget finnes i Jernbaneverkets systemdokumentasjon (Dokument nr. EK.800118-000).

1.1 Innledning

Kravene i dette dokumentet gjelder et AT-system som prinsipielt vist i Figur 1.



Figur 1. Prinsipp for AT-system med positivleder (PL), negativleder (NL) og seksjonert kontaktledning (KL).

Videre i dette avsnittet er det listet de spesielle tekniske krav som stilles til AT-systemet ved planlegging, bygging og vedlikehold av slike anlegg, basert på de utredningene som er utført for AT-systemet i Norge.

Alle vurderinger og beregninger vedrørende AT-system har indirekte forutsatt at den maksimale avstanden mellom matestasjoner er 120 km. På strekninger med liten og "lett" trafikk (ikke

godstrafikk) vil det kunne være mulig å ha enda lengre avstander mellom matestasjoner, og dette bør vurderes spesielt på aktuelle strekninger.

Selv om dette dokumentet omfatter kun godkjenning og krav til ett alternativ for AT-system, kan det være mulig at også andre varianter av AT-system vil kunne bli godkjent i fremtiden.

2 AT-LEDERE

AT-lederene vil stå for overføringen av effekten fra matestasjon og fram til matepunkt for kl-seksjonen. Impedansen i sløyfen PL-NL vil være dominerende for impedansen fra matepunkt til tog, men impedansen på selve kl-seksjonen der toget befinner seg vil også bidra, spesielt når toget er på enden av en slik seksjon. Tverrsnitt og plassering av lederne vil bestemme impedansen.

- a) Tverrsnittet på AT-lederne skal dimensjoneres med tanke på følgende forhold:
Kvalitative eller kvantitative funksjonskrav:
1. Belastningsstrømmen i PL og NL skal ikke føre til skadelig oppvarming av lederne ved de påregnelige driftsstrømmer og feilstrømmer (kortslutningsstrømmer) som kan oppstå i anlegget
 2. Spenningsforholdene for togene skal tilfredsstillende kravene gitt i JD 546, kap. 5 Energiforsyning
 3. Det må ved beregningene tas høyde for spenningsfall på den aktuelle kl-seksjonen i tillegg til spenningsfallet i PL-NL-kretsen.
- b) Ledertverrsnitt større enn 400 mm² bør av praktiske hensyn ikke benyttes.

2.1 Plassering og oppheng av ledere

2.1.1 Luftledninger

- a) PL- og NL-lederne skal plasseres horisontalt symmetrisk om toppen av kl-mast.
- b) Normal faseavstand bør være 1000 mm +/- 50 mm
1. Faseavstanden bør ikke være særlig større enn 1000 mm da dette gir økt systemimpedans.
- c) Lederne bør monteres minimum 10,0 m over SOK.
- d) Ved kryssing av sporet skal det kontrolleres at avstanden mellom bæreline og AT-lederne er minst 2,0 m også når det er tatt hensyn til de dimensjonerende temperatur og snøforholdene på stedet.

Plassering av PL- og NL-lederne har liten eller ingen betydning for systemets EMC-egenskaper så lenge avstanden mellom lederne er relativt liten, dvs maksimalt normal faseavstand (1000 mm).

Lederne kan plasseres på mange ulike måter uten at man risikerer et dårligere system med tanke på elektromagnetisk støy.

- e) Lederne kan om nødvendig føres som kabler, flyttes lenger ut fra sporet (på egne masterekker) eller inn over sporet i skjæringer.
- f) Avstand fra AT-ledningene til omgivelsene skal være i henhold til krav i [FEF] for fast innspente ledninger (§ 6-4).
- g) Positivlederen (PL) skal alltid være lengst mot høyre sett i stigende km-angivelse ("ryggen mot Oslo").
- h) Positiv- og negativlederen skal merkes med varig og godt synlig skilt minimum ved:
- Alle tilkoblinger eller avgreininger til lederne i AT-systemet
 - Alle overganger mellom luftledning og kabel
 - Alle brytere
 - Autotransformatorene
- i) Det skal benyttes godkjente skilt merket med "PL" og "NL".
- j) Ved kryssing over kl-anlegget, samt ved kryssing over veier og beferdede områder skal AT-ledningene ha forsterket oppheng i henhold til [FEF].

Ved normale spennlengder for kl-master og normalt montasjestrekk/pilhøyde, vedlegg 5b, tabell 73 [JD 540], vil 1000 mm være tilstrekkelig faseavstand i henhold til forskriftenes krav for å sikre en sikker drift av ledningene. Nødvendig faseavstand er vurdert og dokumentert gjennom eget oppdrag utført av Statnett.

9,5 m mastehøyde (over SOK) og vanlige isolatorer (om lag 500 mm lengde) gir en direkte målt avstand mellom opphengspunktet for PL/NL og øverste punkt i kontaktledningsanlegget på om lag 2,8 m ved masten (forutsetninger er system 20 med kontaktråd høyde 5,6 m og systemhøyde 1,6 m og PL/NL montert horisontalt symmetrisk om toppen av kl-mast). Maksimal pilhøyde midt i spenn finnes for AT-ledningene når aluminiumsliner er innspent i henhold til teknisk regelverk JD 540, vedlegg 5b (tabell 73) når det tas hensyn til sig av ledningen. Den maksimale pilhøyden oppstår enten ved høy temperatur eller ved 0°C med snø og islast på ledningen. Tabellene går til maksimalt 50°C. Dersom lederne har en temperatur nær sitt maksimalt tillatte (70°C) vil pilhøyden i verste fall kunne være større enn tabellene viser. Så høy driftstemperatur vil imidlertid svært sjelden forekomme for AT-ledningene. Maksimal pilhøyde ved 50°C ansees derfor å være tilstrekkelig i vurderingene her.

60 m spennlengde er normalt maksimal spennlengde og den maksimale pilhøyden etter tabell 73 bl.6 og 8 er om lag 2,0 m. Direkte avstand mellom PL/NL og bæreline midt i spenn blir da om lag 3,8 m. Ved kryssing av sporet vil den direkte avstanden bli mindre og det skal kontrolleres om avstanden mellom nærmeste AT-leder og kl-anlegget er minst 2,0 m direkte målt. Eventuelle tiltak for å oppnå dette skal iverksettes.

Eksempel 1, kryssing: 45 m spennlengde gir for AT-ledere maksimalt 1,4 m pilhøyde. Pilhøyde for bæreline (BL) er om lag 0,35 m. Det gir høyde PL/NL ca 8,6 m, høyde BL ca 6,9 m. Direkte målt avstand i kryssingspunktet om lag 1,7 m.

Eksempel 2, kryssing: 35 m spennlengde gir for AT-ledere maksimalt om lag 1,0 m pilhøyde. Pilhøyde for bæreline (BL) er om lag 0,21 m. Det gir høyde PL/NL ca 9,0 m, høyde BL om lag 7,0 m og en direkte målt avstand i kryssingspunktet om lag 2 m.

Generelt vil den maksimale pilhøyden for både PL/NL og bærelinen minke ved kortere spennlengder.

For å sikre tilstrekkelig avstand mellom systemene (AT-ledere og kl-system) ved kryssing kan følgende tiltak iverksettes:

- Høyere master slik at PL og NL kommer høyere
- Lavere kontaktråd høyde slik at bærelinen også kommer lavere
- Mindre systemhøyde i kl-anlegget som også gir lavere bæreline.
- Kortere spennlengder i spennet der man krysser

Når ledningene er innspent med strekk i henhold til teknisk regelverk JD 540, vedlegg 5b (tabell 73) vil det for de aktuelle ledertverrsnitt (240 og 400 mm²) ikke være fare for at ledningene overbelastes mekanisk.

Maksimalt strekk som kan tillates for fast innspente ledninger på kl-master begrenses av kurvekraftene (vinkelrett på sporet). kl-master og fundamenter dimensjoneres normalt med tanke på dette. Økning av strekket i ledningene utover tabellene nevnt ovenfor, for å få mindre pilhøyde kan ikke gjøres uten at det medfører bruk av kurvebarduner eller kraftigere

dimensjonerte master og fundamenter.

Det bør unngås å krysse i spenn med vekslingsfelt eller seksjonsfelt. I tilfelle dette må gjøres vil man måtte benytte høyere kl-master for å oppnå tilstrekkelig avstand til den "løftede" ledningen i vekslingsfeltet.

For å unngå mange kryssinger av AT-ledningene bør det vurderes om man kan ha noen flere kl-master i innerkurve enn det som er vanlig ved konvensjonelt kl-anlegg. På denne måten kan flere kryssinger med PL- og NL-lederne unngås.

2.1.2 Kabler

- Kabler kan benyttes der det ikke er mulig å fremføre AT-lederne som blanke ledninger, slik som i tunneler, under overgangsbruer og evt. på stasjoner eller andre områder der blanke liner ikke er egnet av sikkerhetsmessige årsaker (avstander til terreng, bygninger, vegetasjon og lignende).
- Kablene for PL og NL skal forlegges tett sammen, men med minst en kabeldiameters avstand for å sikre tilstrekkelig kjøling av kablene.
 - Maksimal avstand mellom kabel for PL og NL kan være større enn en kabeldiameter, men bør ikke overstige faseavstanden for luftledningene (normalt 1000 mm). Større faseavstand medfører høyere impedans og dårligere EMC-forhold.
- Ved behov for korte kabler, slik som under overgangsbruer, kan kabler henges på wire innspent mellom kl-master.
- Kabelverrsnitt skal velges for å tilfredsstille nødvendig strømføringsevne for forventet belastningsstrøm på strekningen.
- Kabelverrsnittet bør i tillegg velges slik at impedansen i sløyfen PL-NL totalt på strekningen mellom to matestasjoner ikke øker mer enn 10 % i forhold til om strekningen besto av kun blanke luftliner.
- Beregnet strømføringsevne for kabler:

		Beregningstilfelle 1: Kabelstige i luft i tunnel, 25 gr.C			Beregningstilfelle 2: I kabelkanal/rør i tunnel, 15 gr.C			Beregningstilfelle 3: I kabelkanal i friluft, 25 gr.C		
		Stasjonær	Overlast 1 time	Overlast 10 min	Stasjonær	Overlast 1 time	Overlast 10 min	Stasjonær	Overlast 1 time	Overlast 10 min
240 mm ² Al	Lukket skjerm	620	690	1 035	542	605	910	505	563	844
	Åpen skjerm	622	691	1 035	545	606	910	507	564	845
400 mm ² Al	Lukket skjerm	838	964	1 525	722	836	1 330	672	777	1 234
	Åpen skjerm	843	967	1 526	727	839	1 331	676	780	1 235
630 mm ² Al	Lukket skjerm	1 153	1 383	2 308	975	1 188	1 999	907	1 103	1 855
	Åpen skjerm	1 165	1 389	2 312	988	1 194	2 002	918	1 110	1 857

- Forutsetninger for transient overlast er 50% av maksimal stasjonær last i forkant av overlast.
- Maksimal temperatur for PEX kabel er 90°C både ved stasjonær og transient last.
- Kablene ligger for alle beregningstilfellene med en kabeldiameters avstand (dvs c-c120 mm).
- For beregningstilfelle 2 og 3 ligger begge kablene i samme kabelkanal/rør.
- Beregningene er basert på IEC 60 287 for stasjonære strømmer og IEC 60 853 for transiente strømmer.

2.2 Systemimpedans

Impedansen i PL-NL-kretsen er avhengig av to forhold: Avstanden mellom PL og NL bestemmer i hovedsak impedansens induktive del. Tverrsnittet på lederne bestemmer impedansens resistive del, men har også en viss betydning for induktansen.

Det utført undersøkelser for 3 ulike faseavstander og 2 ulike ledertverrsnitt. Følgende kan oppsummeres etter disse beregningene:

Betegnelsen	Virkelig ledertverrsnitt [mm ² Al]	DC-resistans [Ω/km]	Faseavstand, mm	Beregnet impedans, Z _{loop} , 15 kV [Ω /km]	Z [p.u.]
400	381	0,0778	1000	0,063e ⁵¹	100
240	238	0,1199	1000	0,080e ⁴¹	127
400	381	0,0778	500	0,058e ⁴⁷	92
400	381	0,0778	1500	0,067e ⁵⁴	106

Forenklet kan impedansen i kretsen PL-NL, Z_{loop} beregnes slik¹:

$$Z_{loop} = R_{loop} + jX_{loop}$$

R_{PL}=R_{NL}= R_{DC} for det aktuelle ledertverrsnitt.

$$R_{loop} = 2 \cdot R_{DC} [\Omega / km]$$

$$L_{loop} = 0,4 \ln \frac{d}{r^*} [mH / km]$$

der; d er avstanden mellom PL og NL, og r* er ekvivalent leder radius = 0,779 · r.

r er virkelig lederradius.

$$X_{loop} = \omega \cdot L [\Omega / km]$$

der $\omega = 2\pi f$ (for 16²/3 Hz er $\omega = 104,7$)

Eksempel 1; AHF-line nr. 240, 1000 mm fase avstand.

Fra tabell fra leverandør;

Virkelig tverrsnitt 380,81 mm²

Ytre diameter 25,34 mm => r = 12,67 mm

R_{DC}= 0,0778 ohm/km

Det gir:

$$L_{loop} = 0,4 \ln \frac{1000}{0,779 \cdot 12,67} = 1,847 [mH / km]$$

som gir X_{loop}= 0,193 Ω/km.

$$Z_{loop} = 0,1556 + j0,193 = 0,248 \cdot e^{j51,1} [\Omega / km]$$

¹ Replies on question regarding the report about short circuit impedance seen by the protection relay, Varju EMC Bt, September 2005

Dette er "faktisk" impedans" i kretsen PL og NL (med 30 kV spenningsnivå). Sett fra samleskinnen på 15 kV er impedansen $Z_{15kV} = \frac{1}{4} Z_{30kV}$.

$Z_{loop15 kV} = 0,062 e^{i51,1} \Omega/km$ (eksakt beregnet til $0,063 e^{i51} \Omega/km$, ref tabellen over).

Eksempel 2 Kabel 240 mm² forlagt med 100 mm avstand

Fra tabell fra leverandør;

Virkelig tverrsnitt 240 mm²

Ytre diameter 18,2 mm => r = 10 mm

$R_{dc} = 0,125 \text{ ohm/km}$

Gir $R_{loop} = 0,25 \text{ ohm/km}$

$$L_{loop} = 0,4 \ln \frac{100}{0,779 \cdot 10} = 1,02 [mH / km]$$

$X_{loop} = 0,107 \text{ ohm/km}$

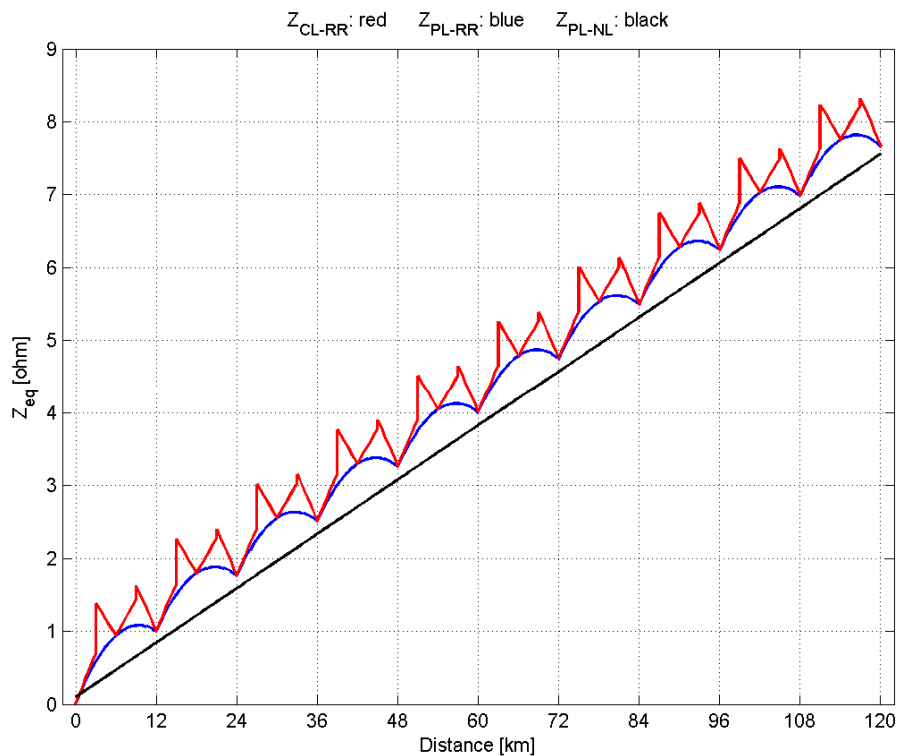
Som gir $Z_{loop, 30 kV} = 0,272 e^{i40,6} \text{ ohm/km} \Rightarrow Z_{loop, 15 kV} = 0,068 e^{i40,6} \text{ ohm/km}$

Konklusjon: Kabel 240 mm² forlagt med om lag en kabeldiameters avstand gir omlag 10 % økning i Z_{loop} i forhold til 400 mm² blank line med 1000 mm faseavstand.

For hovedstrekningene er det planlagt en trafikkapasitet som forutsetter 400 mm² ledertverrsnitt for blanke luftledninger til NL og PL med 1000 mm avstand mellom dem. Videre er det forutsatt 120 km avstand mellom omformerne.

2.2.1 Impedans for PL NL og seksjonert kontaktledning

I Figur 2 under er vist eksempel på beregnet impedans (VARJU EMC BT; Further investigation for the Norwegian Railway, Part 2, EMC study for ATPLNL system in Norway, EB.800038-000) mellom ulike ledere ved ensidig mating over 84 km, der avstanden mellom hver AT er 12 km og kl-seksjonene er 6 km lange.



Figur 2 Impedansen mellom KL og skinne, Z_{CL-RR} (vist i rødt) for system med 6 km lange kl-seksjoner og 12 km mellom to AT-enheter ved ensidig mating med 400 mm² ledertverrsnitt på PL og NL

Som man ser av figuren varierer impedansen mellom KL og skinne (Z_{KL-RR}) betydelig avhengig av hvor på kl-seksjonen man befinner seg. Ved tilkoblingen mellom KL og PL er impedansen Z_{KL-RR} lik impedansen Z_{PL-RR} , og ved hver AT er denne igjen nær impedansen mellom PL og NL. Dersom kl-anlegget ikke hadde vært seksjonert, men også bidratt i overføringen av den totale strømmen fra matestasjon til tog, ville Z_{KL-RR} vært lik Z_{PL-RR} .

Avleste verdier fra figuren:

15 km: $Z_{KL-RR} = 2,3$ ohm, $Z_{PL-RR} = 1,6$ ohm

21 km: $Z_{KL-RR} = 2,4$ ohm, $Z_{PL-RR} = 1,9$ ohm

24 km: $Z_{KL-RR} = Z_{PL-RR} = 1,75$ ohm.

Til sammenligning er impedansen med ordinært kl-anlegg uten returleder (BTRR) om lag $0,21 + j0,21 = 0,3$ ohm / km som gir:

15 km: $Z_{KL-kl-RR} = 4,4$ ohm

21 km; $Z_{KL-kl-RR} = 6,2$ ohm

24 km; $Z_{KL-kl-RR} = 7,1$ ohm

Total impedans fra matestasjon til toget ligger for AT i området om lag 25 til 50 % av impedansen i et konvensjonelt KL anlegg referert til det samme spenningsnivået (15 kV).

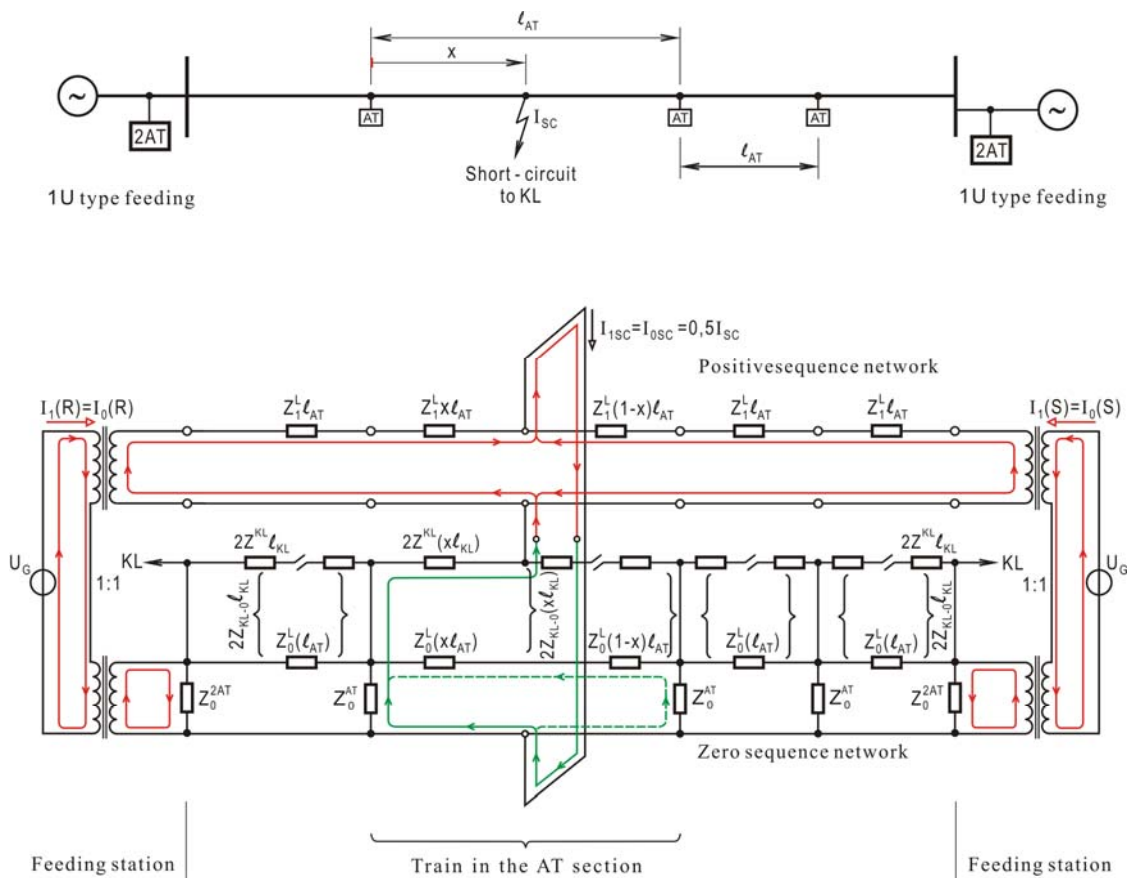
Med 240 mm² ledertverrsnitt på PL og NL vil impedansen ligge om lag 27 % høyere enn med 400 mm².

Fra Figur 3 Feil! Fant ikke referanseilden. kan man se hvordan de ulike elementene er representert i en modell basert på symmetriske komponenter. Den nedre del av figuren viser nullsystemet, og den øvre delen viser pluss-systemet. Strømmer i nullsystemet kan oppfattes som støyrstrømmer og ønskes derfor begrenset i størst mulig grad. Strøm i skinnegangen betyr at det går strøm i nullsystemet. Utbredelsen av strømmen i nullsystemet blir derfor et mål på utbredelsen og størrelsen på den elektriske støyen fra systemet. I figuren er det vist et tilfelle med kortslutning fra KL til spor samt hvordan strømmen vil flyte i nullsystemet og tilbake til pluss-systemet.

Selve autotransformatoren er i denne modellen representert ved Z_0^{AT} . Denne er lik $2Z_T$. Z_T er transformatorens kortslutningsimpedans.

Dersom Z_0^{AT} er stor, vil strømmen i nullsystemet flyte gjennom flere transformatorer og dermed bre seg utover et større område på vei tilbake til pluss-systemet. Ved liten Z_0^{AT} vil strømmen raskere flyte tilbake til pluss-systemet. Derfor er det viktig for AT-systemet egenskaper at transformatorens kortslutningsimpedans er liten.

I beregningene som er utført er det benyttet samme kortslutningsimpedans som krevd i Banverkets tekniske kravspesifikasjon, det vil si en maksimal kortslutningsimpedans på 0,218 ohm referert 16,5 kV.



Figur 3 Modellering av AT-system med seksjonert kl-anlegg basert på symmetriske komponenter.

3 AUTOTRANSFORMATOR

Jernbanelverket og Banverket har i henhold til siste utgave av teknisk spesifikasjon for autotransformator (EB.800040-000) to forskjellige ytelser for transformatorer; 3/1,5 MVA og 5/2,5 MVA. Typegodkjente transformatorer for Banverket er hittil levert av ABB Transmit Oy, Vasa i Finland og ABB Transformers, Ludvika i Sverige (kun 5 MVA).

- a) Autotransformatorer skal tilfredsstille tekniske spesifikasjon utarbeidet av Jernbanelverket og Banverket.
1. I tillegg bør det ved bestilling/godkjenning av transformatorer kreves at leverandøren beregner tomgangstapene over en forventet drifts-/levetid på 30 år. Transformatoren skal forutsettes å stå spenningsatt hele tiden (8760 timer pr år). Likeledes bør belastningstapene beregnes med tanke på en gitt representativ belastningssyklus. Ved slike beregninger skal det benyttes 4,5 % internrente, 2,5 % årlig prisvekst og 25 øre/kWh. Beregnede tapskostnader vil bli tillagt transformatorens innkjøpskostnad ved sammenligning mellom ulike leverandører.
- b) Autotransformatorene skal tilkobles utgående kabel /linjeavgang i matestasjon/koblingshus (15 kV).
- c) Ved matepunktene skal det benyttes to transformatorer i parallell.
- d) Dersom AT-systemet bygges kun på deler av en strekning kan det også være behov for to transformatorer i enden ved overgang til konvensjonelt system.
1. Det skal verifiseres gjennom beregninger om det er behov for to parallelle transformatorer.
- e) Det bør benyttes samme type transformator i hele anlegget av hensyn til ombyttbarhet / reserve.

For nye matestasjoner eller ombygging av eldre anlegg kan det vurderes en utmatettransformatorer som transformerer effekten direkte fra generator/omformer til AT-systemets spenningsnivå. To transformatorer i parallell for hver avgang kan da bli unødvendig. Konsept for dette må utvikles og godkjennes spesielt.

3.1 Plassering av autotransformatorer

Avstanden mellom autotransformatoren har betydning for andelen av strøm i jord og dermed påvirkningen på langsgående kabler.

Det finnes ingen kjente grenseverdier for hvor mye returstrøm som kan aksepteres å gå i jord. Med økende avstand mellom sted der strømmen injiseres og der strømmen hentes ut av skinnegang vil andelen strøm i jord øke. Ved svært lange avstander vil lekkasjen fra sporet avta og andelen strøm i jord vil være tilnærmet konstant. For de lengder det praktisk er snakk om mellom autotransformatorer i et AT-system vil man aldri nå denne stabile tilstanden.

Strømmer i jord er størst i det AT-vinduet der toget befinner seg og bestemmes i hovedsak av avstanden mellom tog og nærmeste autotransformator. I nærmeste AT-vindu uten tog vil det også være noe strøm i jord, men for de øvrige seksjonene vil strømmer i jord være tilnærmet lik null.

Returstrøm i jord medfører i hovedsak to ugunstige fenomener; 1) returstrøm i langsgående ledende konstruksjoner som gjerder, vannrør og lignende (konduktiv kobling) samt 2) induserte strømmer i langsgående kabler (induktiv kobling).

I tillegg til avstanden mellom transformatorene vil jordsmonnets ledningsevne og avledningen fra sporet ha betydning for andelen strøm i jord, og virkningen av strømmen i jord.

Ved dårlig ledningsevne i jorden vil strømmen benytte en større andel av jordsmonnet. Dette vil igjen bety større ubalanse mellom frem- og tilbakeledere i kretsen og dermed større indusert støy på andre systemer (telekabler, signalkabler etc.). Samtidig kan dette bety at strømmen kan flyte i langsgående ledende gjenstander lenger vekk fra sporet enn ved godt ledende jordsmonn. Dersom avledningen fra spor til jord er stor vil også en større del av returstrømmen lekke ut i jordsmonnet.

Den induserte støyen på parallelle kabler kan i hovedsak deles i to; 1) støy på kabler nær sporet som i hovedsak skyldes ubalansen i strømfordelingen mellom frem- og tilbakeledere samt 2) støy på kabler langt fra sporet som i hovedsak skyldes strømmer i jord.

Støyen fra systemet er størst i det AT-vinduet der toget er. Innenfor AT-vinduet er støyen lavest når toget er rett ved en autotransformator. Spenningsfallet er også minst når toget mates rett fra en transformator. Autotransformatorer bør derfor plasseres der belastningen kan forventes å være størst.

- a) Autotransformatorene bør plasseres med en gjennomsnittlig avstand på om lag 10 km.
1. Maksimal avstand mellom to påfølgende autotransformatorer skal ikke overstige 12 km.
 2. Tettere plassering av autotransformatorer gir generelt bedre EMC-egenskaper for systemet.
 3. Tettere avstand bør vurderes der det kan være nødvendig av hensyn til nærliggende bebyggelse og kritiske/viktige langsgående installasjoner som kan være spesielt utsatt for.

I spesielle tilfeller kan andre AT-systemer med sugetransformatorer og egne returledere vurderes om det settes spesielt strenge krav til EMC forhold. Egne utredninger for dette må i så fall gjøres.

- b) Kabel fra kl-mast til transformator bør maksimalt være 60 m. Ved lengre kabler vil det være behov for overspenningsvern i begge ender, se avsnitt 6.3.
- c) Autotransformatorene bør plassere nær vei slik at det ved bygging er mulig å transportere transformatorene pr. bil og slik at det for fremtiden er mulig å komme fram til transformatorene med tanke på inspeksjoner eller vedlikehold uten bruk av skinnegående kjøretøy.

Autotransformatorer i kiosk er ikke planlagt utstyrt med egne vern (Buchholtz-relé, differensialvern eller overtemperaturvern) eller effektbrytere for selektiv og hurtig utkobling.

1. Kiosken med autotransformatoren skal stå lengst mulig unna andre tekniske viktige anlegg, bebyggelse, steder der folk oppholder seg og antennelige bygninger. Om ikke dette kan gjøres skal egne vern for transformatorene vurderes.
2. Om autotransformatorene av noen spesiell grunn plasseres i eget rom for transformator i bygning skal alle de vern og utstyr som er vanlig for slike installasjoner vurderes.
3. Ved plasseringen av autotransformatoren skal det også ta hensyn til akustisk støy som kan virke sjenerende på beboere i nærheten.

I praksis vil det være mest hensiktsmessig å plassere autotransformatorene i kiosk i utkanten av stasjonsområdene. Her vil det normalt være atkomst via vei og tilstrekkelig tomt/grunn eid av Jernbaneverket til at transformatoren kan plasseres på egen grunn.

I tillegg vil det på stasjonene normalt være størst samtidig belastning fra to kryssende tog (med samtidig akselerasjon) slik at det elektrisk sett er mest gunstig å plassere

transformatorene her.

Normal vil en plassering minst 60 meter fra boligbebyggelse være tilstrekkelig for å unngå sjenerende støy. Ved plassering nærmere boliger enn dette må spesielle tiltak vurderes.

I spesielle tilfeller der flere autotransformatorer skal stå tett sammen kan egne bygg som kan romme flere enheter vurderes. Det er således ikke nødvendig å plassere flere enheter i hver sin separate kiosk.

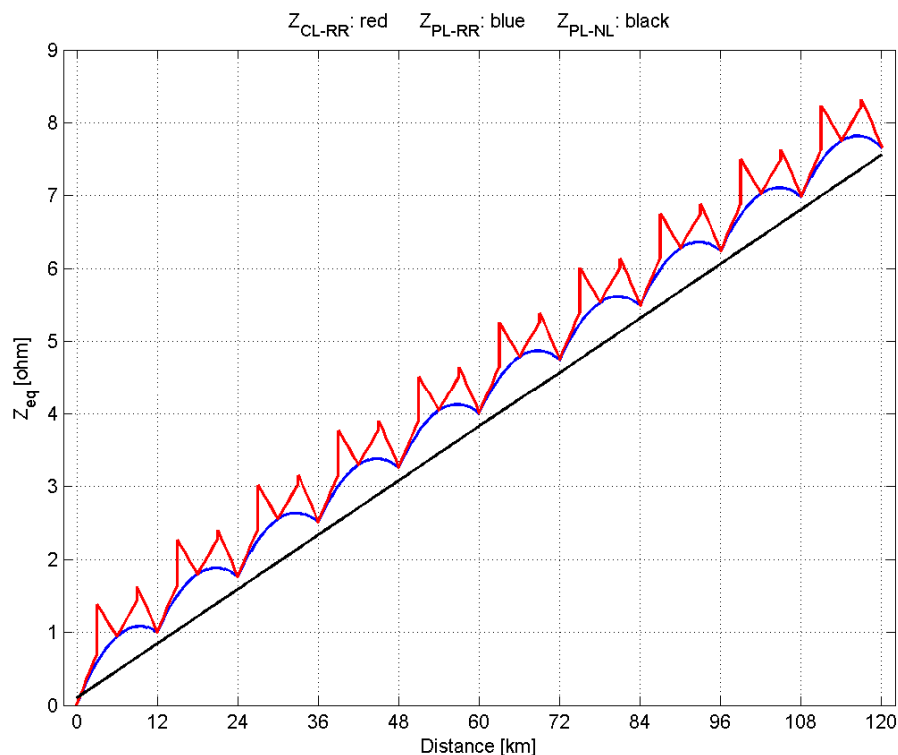
4 SEKSJONERING AV NETTET

4.1 Seksjonering av kontaktledningsnett

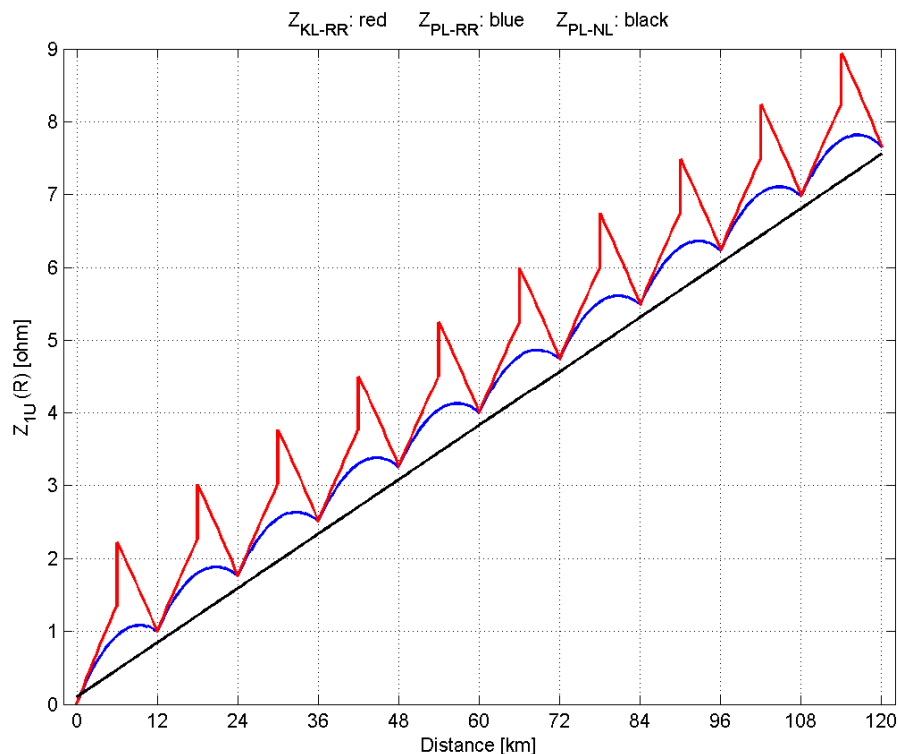
Av hensyn til et best mulig system med tanke på støy på parallelle kabler skal kl-nettet seksjoneres slik at dette ikke bidrar med en gjennomgående laststrøm i systemet. Av hensyn til spenningsforskjellene som vil oppstå mellom de ulike seksjonene må lengden på den enkelte kl-seksjon begrenses.

Beregninger er utført for hvordan andelen i strøm i jord varierer med ulike seksjonslengder og ved ulike togposisjoner.

I tillegg vil den totale impedansen fram til toget påvirkes relativt mye av lengden på kl-seksjonene, ref Figur 4 og Figur 5 under.



Figur 4 Impedansen mellom KL og skinne, Z_{CL-RR} (vist i rødt) for system med 6 km lange kl-seksjoner og 12 km mellom to AT-enheter ved ensidig mating.



Figur 5 Impedansen mellom KL og skinne, Z_{CL-RR} (vist i rødt) for system med 12 km lange kl-seksjoner og 12 km mellom to AT-enheter ved ensidig mating.

Spenningen mellom kl-seksjonene er beregnet ved en kontinuerlig laststrøm på 500 A fra ett tog på hele strekningen. Ved flere tog på strekningen vil også den "gjennomgående" laststrømmen i PL bidra til økt spenningsfall over seksjonen mellom to kl-seksjoner.

Den største spenningsforskjellen oppstår ved seksjonen nærmest en matestasjon. Med 6 km kl-seksjoner og 500 A laststrøm er maksimal spenning beregnet til ca 600 V, med 12 km kl-seksjoner er maksimalverdien ca 1000 V ved bare ett tog på strekningen. For å ta høyde for øvrig trafikk på strekningen bør lengden på kl-seksjonene normalt ikke være lenger enn 6 km. Bidraget fra andre tog på strekningen kan grovt settes til ca 180 V/500 A for tog i nærmeste AT-vinduer, og ca 120 V / 500 A for tog i øvrige AT-vinduer lenger unna.

Til sammenligning er samme spenningsforskjell over en sugetransformator beregnet til 380 V med 6 km sugetransformator avstand og ca 200 V med 3 km sugetransformatoravstand ved 500 A total belastningsstrøm.

- Det skal ikke være mer enn 1200 V mellom to kl-seksjoner ved de belastningsstrømmer som normalt opptrer i anlegget.
- Lengden på hver enkelt seksjon må begrenses av hensyn til systemets støyegenskaper og bør være kortere enn maksimal lengde med hensyn på spenning mellom to seksjoner.
- Lengden på kl-seksjoner bør være maksimalt 6 km dersom hver kl-seksjon mates via en skillebryter fra PL midt på seksjonen (T-mating). Ved endematede kl-seksjoner bør lengden være maksimalt 3 km.

- d) På strekninger med liten belastning der det forventes å bare være ett tog inne på en kl-seksjonen og avstanden mellom togene er normalt er 2 AT-vinduer (20 – 24 km) kan kl-seksjonene tillates å være opp til 10 km lange (midtmatet).
- e) Det skal ikke være seriekoblede brytere i kl-nettet som gjør det mulig å sammenkoble to kontaktledningsseksjoner som hver for seg mates fra PL (T-mating fra PL). I praksis betyr det at seriekoblede brytere bare vil benyttes fra en kontaktledningsseksjon og mot sidespor, buttspor, industrispor eller lignede.
- f) Alle stasjoner (fra innkjør A til innkjør B) skal kunne seksjoneres uavhengig av det øvrige nettet.
1. Dette betyr en egen T-matet seksjon for hver stasjon
- g) Skille mellom de ulike seksjonene i kl-nettet skal utføres som seksjonsfelt, ref. kap 6 [JD 540].

4.2 Seksjonering av AT-nettet

Generelt gjelder at AT-nettet skal kunne seksjoneres slik at:

- Driftsforstyrrelser på KL og/eller AT-nettet gir minst mulig driftsforstyrrelser for togtrafikken på strekningen.
- Nødvendig drift- og vedlikehold av anlegget kan gjennomføres uten omfattende forstyrrelse på togtrafikken.

Ved oppdeling av nettet må seksjoner som mates ensidig fra kun en autotransformator ikke være lengre enn at den induserte støyen på langsgående kabler holdes under aksepterte grenseverdier. Dersom slike ensidige kl-seksjoner blir for lange eller dersom varigheten av denne type unormale driftssituasjoner blir lang, kan det være nødvendig med operative tiltak for å begrense togtrafikken eller belastningen på banestrømforsyningen. Normalt vil ensidig matede seksjoner opp til 6 km kunne være akseptabelt i et begrenset tidsrom.

- a) AT-nettet skal kunne seksjoneres ved hver autotransformator.
- b) Det skal benyttes 2-polede lastskillebrytere som gir samtidig brudd i PL og NL.
- c) Alle brytere i PL og NL bør være fjernstyrt.
- d) Ved utkobling av AT-nettet mellom to AT-enheter bør det alltid være en autotransformator på enden av det siste spenningsatte AT-vinduet. Ensidig matede seksjoner bør ikke være lengre enn 6 km totalt, regnet fra nærmeste autotransformator.
- e) Ved en matestasjon med AT-system i flere retninger (mer enn en linjeavgang til AT-system) skal alle AT-linjene kunne spenningssettes ved sammenkobling av PL og NL ved feil på en samleskinneseksjon eller ved feil på effektbryter på linjeavgangene.
- f) For frakobling av autotransformator ved inspeksjoner og vedlikehold, eller ved feil på en autotransformator, kan det være manuelle 2-polede skillebryter i masten ved kabelnedføring til hver enhet.
1. Ved bruk av slike brytere bør disse utstyres med jordkniv som jorder kabelen når den er frakoblet.

5 ELSIKKERHET

- a) Alle anlegg skal planlegges og bygges slik at det teknisk er mulig å frakoble og jorde kl-anlegget samtidig som AT-nettet er spenningsatt.
- b) Avstanden mellom AT-nettet og spenningsatte deler i kontaktledningen (med utligger og isolatorer) bør i ugunstigste tilfelle ikke være mindre enn 2,0 m direkte målt hvor som helst i et ledningsspenn.
- c) Avstanden til andre kryssende høyspenninglinjer, avstanden over terreng, avstand til vegetasjon etc. skal være i henhold [FEF].
- d) Alle kl-master i AT-system skal ha hull for jordingskule 1 m over SOK og 2 m under mastetopp, samt hull for jordingskrok 6 m over SOK.
 1. Jordingskule og -krok monteres på utvalgte kl-master etter behov på den enkelte strekning.

Dersom anlegget er bygd med minst 2,0 m avstand mellom AT-system og kl-system vil det bli enklere å gjøre vedlikeholdsarbeid på kl-nettet. Med fortsatt spenning og samkjøring på AT-nettet påvirkes ikke driftsforholdene for tog utenfor den aktuelle kl-seksjonen som det arbeides på. Dette kan gi både flere muligheter og lengre tid for å arbeide på kl-anlegget.

Avstanden på 2,0 m er den samme som er vanlig ved bygging av konvensjonelt kl-anlegg med mateledning på topp av kl-mast. Se for øvrig også krav til dimensjonering av master i avsnitt 1.3.

Det bør vurderes om det er nødvendig med egne retningslinjer og krav til arbeid på kl-anlegg i nærheten av AT-nett for enkelte arbeidsoperasjoner. Det vil alltid være Leder for elsikkerhet som i hvert enkelt tilfelle har ansvaret for å vurdere om arbeid kan utføres med spenningsatt AT-nett.

6 ISOLASJONSKOORDINERING

- a) Isolasjonskoordinering for AT-nettet skal gjøres på samme måte som for kontaktledningsanlegget, se kap. 7 [JD 510].

Høyeste spenning mellom faseleder og jord i AT-systemet er det samme som mellom kontaktledning og jord. Høyeste spenning som kan tillates kontinuerlig mellom fase og jord er, i henhold til NEK EN 50163, fastsatt til 17,25 kV. Nærmeste standard spenningsnivå som tilfredsstillende dette er $30 \text{ kV}_{\text{fase-fase}}$ ($17,32 \text{ kV}_{\text{fase-jord}}$).

Teknisk regelverk stiller i dag krav om at man skal dimensjonere kontaktledningsanlegget for 70 kV i ett minutt (driftsfrekvens) og 170 kV lynimpuls. Det samme skal benyttes for AT-systemet.

6.1 Isolasjonsavstander

Det er i utgangspunktet andre forskriftskrav til isolasjonsavstander i kontaktledningsanlegget enn for fast innspente ledninger.

Fast innspente luftledninger, se [FEF] kap. 6.

Ved dimensjonering av isolasjonsavstander for fast innspente ledninger skal [FEF] benyttes. For selve kontaktledningsanleggets loddavspente ledninger henviser [FEF] til kapittel 8 for jernbaneanlegg, men for fast innspente luftledninger gjelder kapittel 6.

Fra tabell 6-1 er krav til isolasjonsavstand mellom fase-fase, D_{pp} minst 0,40 m for 30 kV, nominell systemspenning (relevant for avstand mellom PL og NL).

For 15 kV spenning får man ved å interpolere mellom 10 og 20 kV krav til avstand fase-jord: $D_{el} = 0,16 \text{ m}$

Installasjoner [FEF] kap. 4.

Jernbaneverket ønsker at de generelle kravene i FEF, kap. 4 (tabell 4-1) skal gjelde også for jernbaneanlegg (bryterarrangement etc.).

Verdiene i tabell 4.1 gir for 15 kV krav om minst 160 mm isolasjonsavstand fase-jord. Dette vil være gjeldende for alle ledere mot jord i "installasjoner", dvs. bryterarrangement og på tilkobling på transformatorer.

I kl-anlegget er kravene til statisk isolasjonsavstand 250 mm mot jord. Det er ikke ønskelig at isolasjonsavstanden i AT-nettet blir dårligere enn i kl-nettet, derfor velges samme minste isolasjonsavstand mot jord som i kl-anlegget for øvrig, dvs. 250 mm fase-jord som minste avstand.

For 30 kV gir FEF tabell 4-1 minst 320 mm isolasjonsavstand fase-fase for å tilfredsstille BIL 170 kV.

- a) Isolasjonsavstanden i luft for PL- og NL-lederne skal være i henhold til [FEF]
1. Avstand mellom PL og jord skal være minimum 250 mm.
 2. Avstand mellom NL og jord skal være minimum 250 mm.
 3. Avstand mellom PL og NL skal være minimum 400 mm.
 4. Avstand mellom NL og KL skal være minimum 400 mm.
 5. Avstand mellom PL og KL skal være minimum 250 mm.

- b) Isolasjonsavstander for bryterarrangement og ved innføring til transformatorer skal være i henhold til [FEF].
1. Avstand mellom PL og jord skal være minimum 250 mm.
 2. Avstand mellom NL og jord skal være minimum 250 mm.
 3. Avstand mellom PL og NL skal være minimum 320 mm.
 4. Avstand mellom NL og KL skal være minimum 320 mm.
 5. Avstand mellom PL og KL skal være minimum 250 mm.

Ved lynnedslag vil man ved å ha AT-ledningene på toppene av mastene redusere sannsynligheten for lynnedslag direkte i kl-anlegget. AT-ledningene vil "fange" lynet lettere. Ved direkte nedslag vil man med isolasjonsavstandene nevnt over få direkte overslag til jord fra PL eller NL med tilbakeslag slik at det gir overslag også mellom PL og NL. Lynstrømmen vil derfor fordele seg mellom disse lederne og vil se en mindre bølgeimpedans som igjen gir en mindre overspenningspåkjenning i anlegget. Dersom det i tillegg er langsgående jordleder i anlegget vil påkjenningen bli ytterligere redusert

6.2 Isolatorer

- a) Krypstrømsvei for isolatorer mellom fase og jord skal være det samme i AT-nettet som i kl-nettet.

I henhold til kap 15 [JD 540] skal krypstrømsveien for isolatorer være minst 40, 48 eller 52 mm/kV driftsspenning avhengig av forurensing/miljøforhold.

For AT-systemet vil enhver isolasjonsfeil mellom PL og jord eller mellom NL og jord medføre kortslutning. Spenningspåkjenning over en isolator vil derfor aldri være mer enn 17,25 kV kontinuerlig, og kravet til krypstrømsvei vil være tilsvarende som for isolatorer i kl-anlegget, som betyr 690, 828 eller 897 mm.

6.3 Overspenningsvern

Det er utført en egen studie av overspenningsvern i AT-nettet (TRANSINOR). Studien ble i utgangspunktet igangsatt for å se på om det i nett med mye kabler kan aksepteres å ikke ha overspenningsvern ved alle kabelavslutninger.

- a) Overspenningsavledere i kl-anlegg med AT-system skal dimensjoneres på samme måte som i konvensjonelt kl-anlegg, kap. 7 [JD 510].
1. I tillegg bør det vurderes å ha ekstra jordspyd i forbindelse med mastefundamenter, noe som også vil bidra til en bedre overspenningsbeskyttelse av anleggene.
- b) Overspenningsavledere i AT-nettet skal plasseres mellom fase og jord i både PL og NL;
1. I begge ender av innskutte kabler i AT-nettet lengre enn 70 m.
 2. I den ene enden av innskutte kabler kortere enn 70 m.
 3. I enden mot luftlinje/kl-mast for kabelavgreininger til autotransformatorer ved kabler kortere enn 60 m.
 4. I begge ender av kabelavgreininger til autotransformatorer ved kabler lengre enn 60 m

7 MEKANISK DIMENSJONERING AV MASTER

- a) Det skal dimensjoneres for at den direkte avstanden mellom kl-anlegget og AT-nettet skal være minst 2,0 m i ugunstigste tilfelle.
 - 1. Ved beregning skal det tas hensyn til maksimal pilhøyde og maksimal (dimensjonerende) vindutblåsning for de fast innspente ledningene.
- b) Det bør unngås å benytte kurvebardun.
- c) Dimensjonering av master og fundamenter skal gjøres i henhold kap. 7 [JD 540].
 - 1. Det skal tas hensyn til den tilleggsbelastning som AT-ledningene påfører mastene.
 - 2. Det skal gjøres en vurdering av om mastene bør dimensjoneres for ytterligere belastning med flere ledere som eksempelvis langsgående jordleder i mast.

8 VERN PÅ UTGÅENDE LINJEAVGANGER

I rapporten "Vern i AT-system for norsk banestrømforsyning" er det anbefalt å benytte samme vern som i konvensjonelt kl-anlegg, men enkelte eldre typer vern anbefales byttet ut.

Ved å koble autotransformatorene til eksisterende linjeavganger (på 15 kV-nivå) trenger man ikke gjøre endringer i eksisterende matestasjoner med hensyn på vern dersom disse kan tåle den økte belastningen som følge av større trafikk og økte avstander mellom matestasjonene.

8.1 Distansevern

Distansevern skal fortsatt benyttes som hovedvern.

Innstillingen av vernet skal gjøres i henhold til kap. 5 [JD546].

- a) Elektromekaniske distansevern med "mho-karakteristikk" skal byttes til elektroniske vern.
- b) "Avstandtilfeil" funksjonen i distansevern bør utnyttes ved at denne overføres som et signal til elkraftsentralen.

"Avstandtilfeil" funksjonen vil kunne gi en god pekepinn på hvor feilen befinner seg og dermed bidra til raskere feilsøking i anleggene.

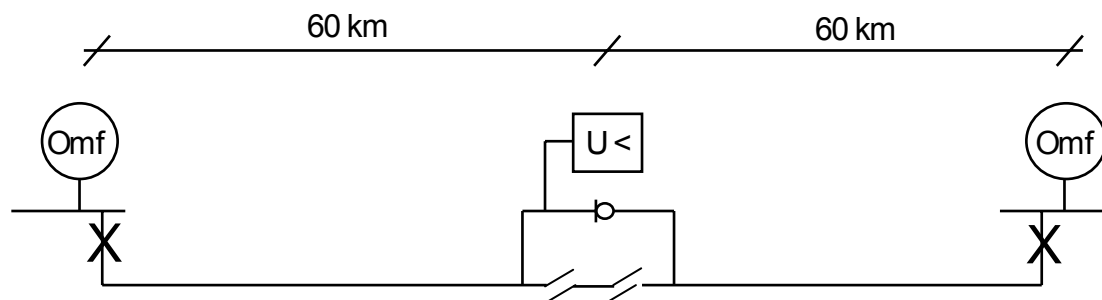
8.2 Overstrømsvern

- a) Overstrømsvernene skal stilles inn som beskrevet i kap. 5 [JD546].

8.3 Seksjoneringsstasjoner

Det er anbefalt at det bygges en seksjoneringsstasjon med lastskillebryter og underspenningsvern mellom hver matestasjon for å gi en akseptabel utetid i anlegget ved feil. Seksjoneringsstasjonen vil bidra til en automatisk seksjonering av nettet ved kortslutninger og redusere nedetiden for den feilfrie halvdelen av strekningen. Uten seksjoneringsstasjon vil man ved lengre avstander mellom matestasjonen og ved flere ledninger og komponenter i systemet kunne forvente en nedetid for den feilfriedelen av nettet som ville bli betydelig høyere enn dagens situasjon i kl-nett med om lag 80 km og en sonegrensebryter.

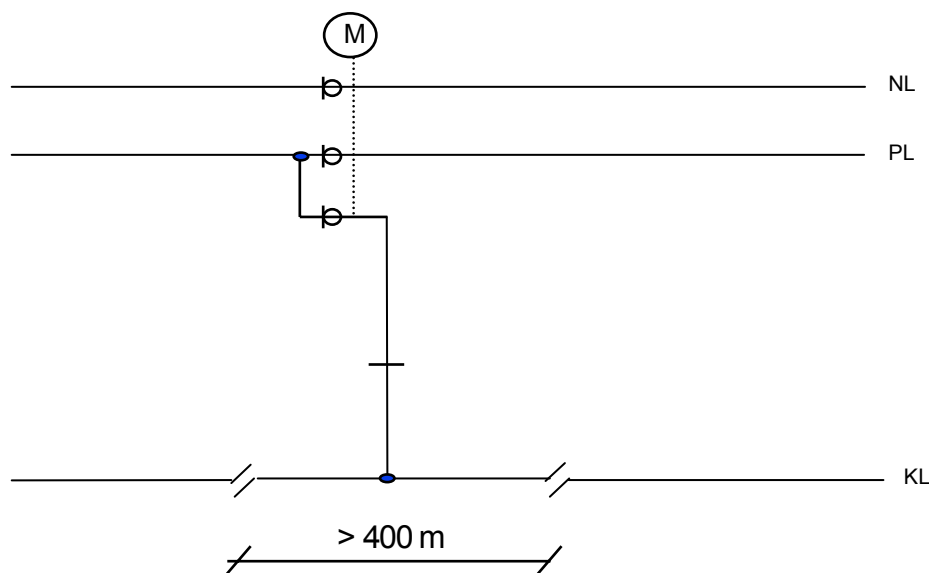
- a) Der avstanden mellom to matestasjoner er lengre enn 60 km skal det etableres en seksjoneringsstasjon mellom matestasjonene.
 1. En seksjoneringsstasjon skal bestå av en 3-polet lastskillebryter utrustet med underspenningsvern og fasesperrevern.
 2. Seksjoneringsstasjonen skal normalt ligge inne (sammenkoblet nett).
 3. Ved feil skal underspenningsvernet koble ut lastskillebryteren før andre gjeninnkoblingsforsøk i matestasjon eller koblingshus.
 4. Lastskillebryteren skal bryte PL og NL samt koble fra dødseksjonen i kl-nettet, se avsnitt 8.4.



Figur 6. Prinsipp med en seksjoneringsstasjon midt på en om lag 120 km lang matestrekning.

8.4 Dødseksjoner

- a) I AT-system skal det være dødseksjon ved hver seksjoneringsstasjon.
1. Lastskillebryteren i seksjoneringsstasjonen skal i tillegg til å bryte PL og NL også etablere en dødseksjon i kl-nettet.
 2. Dødseksjon i kl-nettet skal utføres som vist i Figur 7.
 3. Dødseksjonen skal normalt ligge innkoblet.
 4. Lengden på selve dødseksjonen i kl-nettet skal være minst 400 m og utføres i henhold til kap. 6 [JD 540].



Figur 7. Prinsipp for dødseksjon i AT-system med 3-polet lastskillebryter.

9 RETURKRETS

For AT-systemet med PL og NL trengs det normalt ikke returledning.

- a) Det skal vurderes om returledning kan være nødvendig av hensyn til lokalt magnetfelt rundt kontaktledningsanlegget.
Returledning vil bidra til å minimere det lavfrekvente magnetfeltet for nærliggende bebyggelse eller annet teknisk ømfintlig/kritisk utstyr.
- b) Dersom returledning benyttes skal denne forlegges nærmest mulig AT-lederne over stasjonen, på samme kl-mast om lag i samme høyde som RL vanligvis monteres.
- c) Det skal også vurderes om det på de stasjoner hvor autotransformator er plassert er nødvendig med returledning over stasjonen av hensyn til påvirkning på sporfelter.
- d) Krav til maksimale lengder for sporfelter i teknisk regelverk for signal [JD 550] skal følges.
- e) For dimensjonering av returkrets i skinnegangen skal for øvrig kap. 12 [JD 540] følges, med unntak av at det ikke skal benyttes sugetransformator på strekninger med AT-system.

9.1 Kobling til sporet

- a) Ved alle autotransformatorer skal det etableres en retursamleskinne.
- b) Dersom det er mer enn én autotransformator skal alle transformatorenes nullpunkt kobles til én felles retursamleskinne.
- c) Retursamleskinnen ved utmateautotransformatorene skal kobles direkte sammen med omformerstasjonens retursamleskinne.
- d) Alle returforbindelser fra en autotransformator skal dimensjoneres minst lik transformatorens nominelle belastningsstrøm (ref. 15 kV).
- e) Tilkoblingen fra retursamleskinne til sporet skal dimensjoneres for minst samme strømføringsevne som dimensjonerende belastningsstrøm i matekablene på høyspentsiden av autotransformatorene (ref. 15 kV).
 - 1. Tilkoblingen til sporet skal dubleres med redundant forlegning.
Med redundant forlegning menes at det skal etableres minst to parallelle strømveier som er dimensjonert for å føre dimensjonerende belastningsstrøm på stedet selv om én av strømveiene brytes.
Hver av disse strømveiene bør forlegges i atskilte føringsveier og tilkobles sporet med 2 – 3 m avstand, slik at man reduserer sannsynligheten for skade/brudd på begge strømveiene samtidig.
- f) Koblingen til sporet skal utføres i henhold til sporisoleringen på stedet.
 - 1. Ved enkeltisolerte sporfelter kobles retursamleskinnen direkte til jordet streng, og på stasjoner med flere spor skal det i tillegg være en tverrforbindelse mellom sporene.
 - 2. Ved dobbeltisolerte sporfelter skal retursamleskinnen kobles til sporet via filterimpedanser.
Merk at det ved to eller flere tilkoblinger til sporet som er sammenkoblet på retursamleskinnen ikke vil være mulig å detekteres skinnubrudd i sporet mellom disse tilkoblingene. Avstanden mellom to slike tilkoblinger bør ikke være mer enn 3 meter.
 - 3. På strekninger uten sporfelter skal retursamleskinnen kobles direkte til begge skinnestrenger.
- g) Dersom det er returledning på strekningen skal tilkoplingen av retursamleskinnen ved autotransformatorene samordnes med nedføringen fra returledningen til sporet.

10 STABILITET I BANESTRØMFORSYNINGEN

Analyser av lavfrekvent stabilitet og elektrisk resonansstabilitet skal gjøres i henhold til kap. 5 [JD 546].

Dersom det er sannsynlig med resonansfrekvenser i området mindre enn 250 Hz skal stabilitetsanalyser gjennomføres. Følgende forhold tilsier resonansfrekvenser lavere enn 250 Hz:

- Lange seksjoner mellom to matestasjoner med andel kabel over om lag 10 % av strekningen.
- Ensidig matede seksjoner på omlag 40 km eller mer med kun ett omformeraggregat i drift.
- Ensidig matede lange seksjoner over om lag 80 km.

- a) På grunn av den lave overføringsimpedansen gitt av autotransformatorsystemet skal det vurderes en fallende spenningskarakteristikk på matestasjonene for å stabilisere disse mot hverandre og redusere effektflyten mellom dem, se også kap. 18 [JD 548].

Ved innkobling av lange linjer er det fare for koblingsoverspenninger. Med linjer som har lave resonansfrekvenser (stort innslag av kabler) er sannsynligheten for store overspenninger større. Ved innkobling med effektbryter og prøvemotstand er dette uproblematisk, men ved innkobling uten prøvemotstand (med lastskillebryter eller effektbryter i sonegrensebryter) kan det gi uakseptabelt høye koblingsoverspenninger.

- b) Innkobling av lange linjer uten bruk av prøvemotstand bør begrenses.
1. Kravene til vern ved innkobling i kap. 5 [JD 546] skal følges.

11 SPESIELLE REGLER FOR BYGGING AV KL-ANLEGG MED AT-SYSTEM

Ved fornyelse av kl-anlegg med AT-system på eksisterende strekninger vil det være svært begrenset tid for arbeid i sporet. Normalt vil man klare å koble om maksimalt en ledningspart i løpet av ett langt skift.

- a) For å kunne drifte et kl-anlegg (også i en anleggsperiode) skal det enten være et operativt konvensjonelt kl-system med sugetransformatorer (BT-system) der minst halvparten av sugetransformatorene er i drift, eller et AT-system i henhold til kravene over.

Ved bygging av AT-system foreslås følgende fremgangsmåte:

1. Eksisterende kl-anlegg beholdes uforandret.
2. Nye kl-master etableres.
3. AT-ledninger strekkes og seksjoneres som for planlagt ferdige anlegg. Det bør bygges minst 30 – 40 km med AT-system før omkobling av KL gjennomføres².
4. Alle RTU'er med nødvendig kabling, og oppkobling mot elkraftsentraler må etableres.
5. Ny reléplan for planlagt ferdig AT-system må utarbeides (eksisterende revideres). Denne reléplanen bør også inneholde eventuelle midlertidige faser ved omkoblingen fra konvensjonelt kl-anlegg til kl-anlegg med AT-system. Nye vern må evt. anskaffes, monteres og driftssettes ut fra dagens reléplan.
6. Autotransformatorer og kiosker etableres – 2 parallelle transformatorer ved mating fra 15 kV (omformer/koblingshus) og én eller to transformatorer i enden av AT-nettet ved overgang til BT².
7. Bryterarrangement for avgreining (T-mating) til KL bygges som for planlagt ferdig anlegg.
8. AT-nettet (PL, NL og transformatorer) kan spenningssettes og testes i tomgang.
9. Omkobling fra drift med BT-system til drift med AT-system, men fortsatt gammelt kl-anlegg.

Generelt bør alle omkoblinger fra BT til AT gjøres slik at man kan koble tilbake til konvensjonelt system. Det vil si at alle komponenter som frakobles eller kortsluttes (eksempelvis brytere, transformatorer, skjøter i spor) ikke fjernes fysisk før anlegg er testet og "godkjent".

Omkobling må gjøres i løpet av en lengre togfri periode. Nødvendig tid til dette bestemmes av den totale strekningen som skal kobles om.

² Det bør bygges AT-system så langt at belastningen på siste transformator ikke er større enn at én transformator kan håndtere lasten alene. Dersom belastningen er for stor må det benyttes en midlertidig trafo i parallell inntil neste etappe/seksjon med AT-system er bygd.

10. Alle sugetransformatorer kortsluttes primært og sekundært (med bryter om denne finnes).
11. Midlertidig loop/drop fra nye brytere til gammel KL etableres. Alle gamle seriekoblede kl-brytere åpnes og låses/sperres fysisk.
12. Dersom det er langt mellom seksjonsfelt i det gamle kl-anlegget kan det være behov for å dele/seksjonere dette ytterligere. Da kan vekslingsfelt nærmest planlagt ny permanent seksjonering benyttes. KL "åpnes" ved at drop/loop fjernes og benyttes midlertidig som seksjonering mellom to kl-seksjoner.

NB: Dersom dette nye vekslingsfeltet skal benyttes som dele ved arbeid mot spenningssatt KL skal det kontrolleres og evt. bygges om slik at det er tilstrekkelige avstander som i et seksjonsfelt.
13. kl-nettet kan spenningssettes fra AT-systemet. Verifiserende tester av AT-systemet med belastning kan gjennomføres³.
14. Evt. andre tester for verifisering/godkjenning av AT-system kan gjøres.
15. Bygging av nytt kl-anlegg kan nå gjøres ved at nye utliggere monteres. Ledningspart for ledningspart erstattes med nytt anlegg på allerede etablerte nye master.

³ Det vil i forbindelse med AT-pilot bli utarbeidet egne prosedyrer driftssettelse av AT-system

12 SPESIELLE KRAV TIL VEDLIKEHOLD AV KL-ANLEGG MED AT-SYSTEM

- a) Ved utarbeidelse av generiske vedlikeholdsrutiner for AT-system bør det spesielt fokuseres på kontroller for å avdekke brudd i NL eller PL.

Brudd i PL eller NL uten at dette gir kortslutning vil ikke nødvendigvis bli detektert. Det er ingen vern som umiddelbart vil se en slik feil. Det kan være fare for overbelastning av autotransformatorer og AT-ledere samt økt elektromagnetisk forstyrrelse fra systemet ved slike feil.

- b) Det skal gjennomføres en periodisk sjekk av brytere og ledere spesielt med tanke på brudd.

Det er ikke utviklet noe system eller konsept for fasebrudddeteksjon. I andre land er dette vurdert som unødvendig, men siden det her er planlagt å sette inn flere skillebrytere og lignende er det muligens en større risiko for brudd i termineringer til disse. Denne risikoen vil bli vurdert. Det vil også bli vurdert systemer for deteksjon vil bli vurdert for å finne en hensiktsmessig måte for å melde om feil.

13 FORBEREDELSE TIL AT-SYSTEM

- a) Ved fornyelse av kl-anlegg (nye master og nytt ledningsanlegg) på strekninger der AT-system senere kan være aktuelt å bygge ut, ref til "Strategi for kontaktledning og banestrømforsyning, Jernbaneverket desember 2006, skal det ved planleggingen og gjennomføringen av kl-fornyelsen minst tas hensyn til forhold beskrevet i veiledningen nedenfor.

1. Lengre og kraftigere kl-master og fundamenter

Vanlig i dag er ca 8,5 m gittermaster. For AT bør mastene være minst 9,5 m + isolator på toppen som gir AT-ledninger på 10 m over SOK. Man kan sette spir på alle gittermaster og bjelkemaster slik at en mulighet er å dimensjonere mast og fundament for AT-ledninger på 10 m, men faktisk bygge bare den mastelengden som trengs (eksempelvis 8,5 m) for senere å ettermontere spir. Systemtegninger/skisser finnes for spir både på gitter- og bjelkemaster.

2. Spennlengder ved kryssing

Avstand mellom kl-master bør ved kryssing av sporet (sidebytte) ikke være lengre enn 35 m. Ved lengre spenn der man krysser bør det tas høyde for høyere kl-master slik at man sikrer minst 2 m mellom KL og NL/PL i krysningspunktet.

3. Færrest mulig kryssinger

Kryssing av sporet/sidebytte for kl-master bør ikke være ved ordinære vekslingsfelt da man ved fremtidige AT-ledninger som krysser sporet vil kunne få for liten avstanden mellom løftet ledning/avspenningsliner og AT-ledningene. Man bør tillate kl-master i innerkurve oftere enn normalt for å etterstrebe færrest mulig kryssinger av sporet. Eksempelvis i en S-kurve der kurveradiusen tillater det kan man spare 2 kryssinger av sporet ved å bygge kl-mastene i innerkurve

4. Seksjonering av nettet

Fremtidig koblingsbilde for AT-systemet bør utarbeides. Dersom det er behov for seksjonsfelt på blokkstrekning mellom to stasjoner (ref krav i AT-dokumentet) bør vekslingsfelt i nytt kl-anlegg forsøkes plassert der dette fremtidige skillet blir. Dette vekslingsfeltet utføres som et seksjonsfelt (dvs. større isolasjonsavstander). Seksjonsfelt ved innkjørsignalene vil bli som før

5. Dimensjonering av beskyttelsesjording

Det må tas høyde for økt kortslutningsstrøm på strekningen, se kap. 6 [JD 510].