Transformer များအား အပြိုင် ဆက်သွယ်ခြင်း

Reference:

https://electricalnotes.wordpress.com/2012/07/17/parallel-operation-of-transformers/ အား ကိုးရန်ကျော်မိုးမှ ဆီလျော်သလိုဘာသာပြန်ဆိုပါသည်။

မိတ်ဆက်

- လက်ရှိတပ်ဆင်ထားသော transformer ၏ rating ထက်ပိုသော Load တစ်ခုအား supply ပေးရန်၊ နှစ်လုံး သို့မဟုတ် ထို့ထက်ပိုသော transformer များအား လက်ရှိတပ်ဆင်ထားသော transformer နှင့် အပြိုင်ဆက်သွယ်ပေးရပေမည်။ transformer တစ်လုံးမှ ထမ်းသော ဝန်အားသည် ယင်း၏ capacity ထက် ကျော်လွန်နေပါက transformer များအား အပြိုင်ဆက်သွယ်သင့်ပါသည်။ transformer အကြီးစားတစ်လုံးတည်း တပ်ဆင်သည်ထက် အပြိုင်ဆက်သွယ်မှုပြုခြင်းဖြင့် reliability ကို တိုးတက်စေပါသည်။ transformer နှစ်လုံးအား အပြိုင်သွယ်တန်းခြင်းအားဖြင့် အပိုပစ္စည်းများ စုဆောင်းမှုအတွက် ကုန်ကျစရိတ်လည်း သက်သာစေပါသည်။
- လက်ရှိတပ်ဆင်ထားပြီးသော transformer အား ထို့ထက်ကြီးမားသော transformer တစ်လုံးဖြင့် အစားထိုးမည့်အစား transformer နောက်တစ်လုံးဖြင့် အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်းက စီးပွားရေးအရ ပိုမို တွက်ချေကိုက်ပါသည်။ တူညီသော rating ရှိသည့် transformer နှစ်လုံးအား အပြိုင်ချိတ်ဆက် သုံးစွဲခြင်းက ကြီးမားသော transformer တစ်လုံး တည်းတပ်ဆင်အသုံးပြုခြင်းနှင့် ယှဉ်လျှင် spare unit အတွက် စရိတ်စက ပိုမိုလျော့ကျစေသည်။ ထို့ပြင် transformer များအား အပြိုင်သုံးစွဲခြင်းသည် reliability ကိုလည်း ကောင်းမွန်စေပါသည်။ ထိုသို့ တပ်ဆင်ခြင်းဖြင့် transformer တစ်လုံးအား အသုံးမပြုနိုင်ပါက အနည်းဆုံး ဝန်အား၏ ထက်ဝက်မျှအား supply လုပ်ထားနိုင်ပေမည်။

Condition for Parallel Operation of Transformer:

- Transformer များအား အပြိုင်ဆက်သွယ်ရာတွင် transformer များ၏ primary winding သည် source bus bars များတွင် ဆက်သွယ်ရမည်ဖြစ်ပြီး secondary winding သည် load bus bars များတွင် ဆက်သွယ်ထားရမည်ဖြစ်ပါသည်။
- Transformer များ အောင်မြင်စွာ အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်မည့် အချက်များစွာကို အောက်တွင်ဖော်ပြထားပါသည်။

1. Voltage Ratio နှင့် Turns Ratio များတူညီခြင်း (primary နှင့် secondary တို့၏ Voltage Rating များတူညီခြင်း).
2. Percentage Impedance and X/R ratio တူညီခြင်း
3. Tap changer တို့၏ position များ အတိအကျ တူညီခြင်း

4. Transformer တို့၏ kVA ratings များတူညီခြင်း
5. Phase angle shift များ တူညီခြင်း (vector group များ တူညီရမည်).
6. Frequency rating တို့ တူညီခြင်း
7. Polarity တူညီခြင်း
8. Phase Sequence တို့ တူညီကြခြင်း

- အချို့သော အခြေအနေများသည် အလျော့အတင်း (convenient) လုပ်၍ရနိုင်သော်လည်း အချို့မှာမူ မဖြစ်မနေ (mandatory) လိုအပ်ပေသည်။
- The convenient are: Voltage Ratio နှင့် Turns Ratio များတူညီရန်၊ Percentage Impedance များတူညီရန်၊ KVA Rating တူညီရန်၊ Tap changer တို့၏ position များ တူညီရန်။
- The mandatory conditions are: Phase Angle Shift များတူညီရန်၊Polarity တူညီရန်၊ Phase Sequence တူညီရန်နှင့် Frequency တူညီမှုရှိစေရန်။
- convenient conditions များအနေဖြင့် မကိုက်ညီသော်လည်း transformer များ အပြိုင်ဆက်သွယ်နိုင်ကာ optimal အခြေအနေရနိုင်မည် မဟုတ်ပေ။

1. Same voltage Ratio & Turns Ratio (on each tap):

- အပြိုင်ချိတ်ဆက်မည့် transformers တို့တွင် different voltage ratio အနည်းငယ်ရှိပါက secondary winding တွင် induced emf များ မတူညီမှုကြောင့် no load အခြေအနေတွင်ပင် transformer တို့၏ secondary winding တို့ဖြင့် ဖွဲ့စည်းဖြစ်ပေါ်နေသော ပတ်လမ်း (loop) အတွင်း circulating current စီးနေမည်ဖြစ်ကာ ယင်း current သည် ပုံမှန် no-load current ထက် များစွာ မြင့်မားပေမည်။
- current ပမာဏ သည် leakage impedance နည်းလျှင် ပိုမိုမြင့်မားပေမည်။ secondary winding များအား load ဖြင့် ချိတ်ဆက်လိုက်သော အခါတွင် ယင်း circulating current သည် transformer နှစ်ခုအတွင်း မတူညီသော loading ကို ဖြစ်ပေါ်စေကာ ယင်းအချက်ကြောင့် အပြိုင်ချိတ်ထားသော transformer အတွဲစုသည် full load ကို ထမ်းရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ (transformer တစ်လုံးသည် overloaded ဖြစ်နေပေမည်။)
- voltage ratio မတူညီသော transformer နှစ်လုံးအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်မည်ဆိုပါက primary supply voltage တို့တူညီကြသည်ဆိုသော်ငြား secondary voltages များမှာ တူညီကြမည်မဟုတ်ပေ။
- ယင်း transformer များ၏ secondary တို့အား တူညီသော bus တွင်ဆက်သွယ်တပ်ဆင်မည်ဆိုပါက secondary များ အကြားတွင် circulating current စီးစေမည်ဖြစ်သကဲ့သို့ primary များအတွင်းလည်း ထိုသို့ပင်စီးပေလိမ့်မည်။ transformer ၏ အတွင်းပိုင်း impedance သည် သေးငယ်ခြင်းကြောင့် voltage difference လည်း

သေးငယ်ခြင်းသည် circulating current ကို မြင့်မားစွာ စီးစေခြင်းကြောင့် မလိုလားအပ်သော I^2R loss မြင့်မားစွာဖြစ်စေပါသည်။

- primaries and secondary တို့၏ rating များသည် ထပ်တူဖြစ်သင့်ပါသည်။ တနည်းဆိုရသော် transformer တို့သည် တူညီသော turn ratio (transformation ratio)ရှိသင့်ပါသည်။

2. **Same percentage impedance and X/R ratio:**

- per-unit impedance သဏ္ဌာန်တူသော transformer နှစ်လုံးကို အပြိုင်ဆက်သွယ်မည်ဆိုပါက ယင်းတို့၏ kVA rating အရ ခွဲမျှနိုင်သော load ပမာဏ အား share လုပ်ကြပေမည်။ ဤတွင် transformer နှစ်လုံးတို့သည် တူညီသော per-unit impedance ရှိကြပြီး X/R ratio များ မတူညီကြသော်လည်း တူညီသော Load ရှိပေမည်။ ထိုသို့သော အခြေအနေတွင် line current သည် transformer current များ ပေါင်းလဒ်အောက်နည်းမည်ဖြစ်ကာ စုစုပေါင်း capacity သည် လည်း သိသာစွာ လျော့နည်းသွားပေမည်။
- Reactance တန်ဘိုးကို resistance တန်ဘိုးဖြင့် အချိုးချ၍ ရသော per unit impedance တန်ဘိုးသည် transformer နှစ်လုံးမှ သယ်ဆောင်စီးဆင်းမည့် current တို့တွင် မတူညီသော phase angle တန်ဘိုး များကို ဖြစ်စေပါသည်။ ထိုအချက်သည် transformer တစ်လုံးအား higher power factor ဖြင့် အလုပ်လုပ်စေကာ အခြားတစ်လုံးမှာမူ နှစ်ခုပေါင်း output ၏ power factor အောက်နိမ့်နေပေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် ယင်း transformer တို့တွင် real power သည် proportionally share လုပ်မည် မဟုတ်ပေ။
- **အပြိုင်သွယ်တန်းထားသော transformer နှစ်လုံးတို့မှ share လုပ်သည့် current သည် ယင်းတို့၏ MVA rating များနှင့် proportional ဖြစ်သင့်ပါသည်။**
- **ယင်း transformer တို့မှ သယ်ဆောင်စီးဆင်းမည့် current သည် ယင်းတို့၏ internal impedance နှင့် inversely proportional ဖြစ်ပါသည်။**
- အထက်ဖော်ပြပါ statement နှစ်ခုအရ အပြိုင်ချိတ်ထားသော transformer များ၏ impedance သည် ယင်းတို့၏ MVA rating များနှင့် ပြောင်းပြန် အချိုးကျပါသည်။ တနည်းဆိုရသော် percentage impedance သို့မဟုတ် impedance များ၏ per unit တန်ဘိုးများသည် အပြိုင်ဆက်သွယ်ထားသော transformer များတွင် ထပ်တူညီသင့်ပါသည်။
- Three-Phase Bank တစ်ခုတွင် single-phase transformers များအား တပ်ဆင်ဆက်သွယ်မည်ဆိုပါက impedance matching ဖြစ်မှု သင့်လျော်စေရန်မှာ အရေးကြီးသော အချက်ဖြစ်ပါသည်။ ထို့ပြင် အပြိုင်ဆက်သွယ်ရန် rule သုံးခုအား လိုက်နာကျင့်သုံးခြင်း၊ three-phase output voltage များအား balance ဖြစ်နေစေရန် series impedance သုံးခုစလုံးအတွက် X/R ratio တန်ဘိုးများ match ဖြစ်စေရန် အတွက် practice ကောင်းမွန်စွာထားခြင်း တို့ကိုလည်း ပြုလုပ်သင့်ပါသည်။

- kVA ပမာဏ တူညီကြသော Single-phase transformer များအား Wye-Delta Bank တစ်ခုအဖြစ် ချိတ်ဆက်မည်ဆိုပါက impedance များ mismatch ဖြစ်ခြင်းကြောင့် transformer များ အကြား သိသာထင်ရှားသော load unbalance ဖြစ်ခြင်းကို ဖြစ်စေပါသည်။
- Impedance၊ Ratio နှင့် KVA တို့နှင့် သက်ဆိုင်သော မတူကွဲပြားသည့် အောက်ပါ case များအား လေ့လာကြပါစို့။
- Single-phase transformer များအား Wye-Wye Bank တွင် isolated neutral အနေဖြင့် ဆက်သွယ်ပါက ohmic basic အားဖြင့် magnetizing impedance တို့သည် တူညီကြပေမည်။ transformer တွင် အမြင့်မားဆုံးသော magnetizing impedance ရှိပါက exciting voltage percentage မှာလည်း အမြင့်မားဆုံးရှိမည်ဖြစ်ကာ transformer ၏ core losses ကို တိုးလာစေခြင်းကြောင့် core ကို အပူချိန်တိုးလာစေပါသည်။

Case 1: Equal Impedance, Ratios and Same kVA:

- Transformer များအား အပြိုင်ဆက်သွယ်ရာတွင် စံပြုထားသော method သည် တူညီသော turn ratio များ၊ percent impedance များနှင့် kVA ratings များ ရရှိစေရန်ဖြစ်ပါသည်။
- Parameter တူသော transformer များအား အပြိုင်တပ်ဆင်ခြင်းဖြင့် equal load sharing ကို ရရှိစေကာ transformer winding များအတွင်း circulating current လည်း မစီးနိုင်တော့ပေ။
- **ဥပမာ** - 2000 kVA, 5.75% impedance ရှိကာ turn ratio လည်းတူသော transformers နှစ်လုံးကို အပြိုင်ချိတ်ဆက်ကာ 4000 kVA load တစ်ခုကို supply ပေးသော် ...
- transformers-1 အပေါ်သက်ရောက်သော load $=KVA_1=[(KVA_1 / \%Z) / ((KVA_1 / \%Z_1)+ (KVA_2 / \%Z_2))]x KVA_{Load}$
- kVA_1 = 348 / (348 + 348) x 4000 kVA = 2000 kVA.
- transformers-2 အပေါ်သက်ရောက်သော load $=KVA_1=[(KVA_2 / \%Z) / ((KVA_1 / \%Z_1)+ (KVA_2 / \%Z_2))]x KVA_{Load}$
- kVA_2 = 348 / (348 + 348) x 4000 kVA = 2000 kVA
- **Hence $KVA_1=KVA_2=2000KVA$**

Case 2: Equal Impedances, Ratios and Different kVA:

- ယခုပြဆိုမည့် အခြေအနေမျိုးသည် အသစ်တပ်ဆင်မှုများအတွက် လက်တွေ့တွင် အသုံးများမှုမရှိပေ။ တစ်ခါတစ်ရံတွင် မတူညီသော kVA ရှိကြပြီး တူညီသော percentage impdance ရှိကြသော transformer များအား common bus တစ်ခုတွင် တပ်ဆင်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထိုသို့သော တပ်ဆင်မှုမျိုးတွင် voltage များ (turn ratio) များ တူညီကြသဖြင့် circulating current များ မရှိပေ။

- **ဥပမာ -** 3000 kVA နှင့် 1000 kVA ရှိကြပြီး တစ်လုံးစီသည် 5.75% impedance ရှိကြကာ တူညီသော turn ratio လည်း ရှိကြသော transformer နှစ်လုံးအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ကာ common 4000 kVA load တစ်ခုအား ပေးပါမည်။
- Transformer-1 အပေါ်ရှိ ဝန်အား =kVA_1 = 522 / (522 + 174) x 4000 = 3000 kVA
- Transformer-2 အပေါ်ရှိ ဝန်အား =kVA_2 = 174 / (522 + 174) x 4000 = 1000 kVA
- အထက်ပါတွက်ချက်မှုအရ transformer များတွင်မတူညီသော kVA rating များ ရှိလင့်ကစား common load တစ်ခုတည်းအား ဆက်သွယ်ထားကာ current ခွဲဝေမှုမှာလည်း transformer တစ်လုံးစီအတွက် ယင်းတို့၏ kVA rating များ အပေါ်တွင်သာ မူတည်ပါသည်။

Case 3: Unequal Impedance but Same Ratios & kVA:

- ယခုပြဆိုမည့် အခြေအနေမျိုးသည် အသုံးများကာ plant power capacity ပြည့်ဝစွာ ရရှိစေရန် kVA rating တူညီစွာ ရှိကြပြီး percentage impedance မတူညီကြသော transformer များအား အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။
- အချက်အလက်များအားလုံးတူညီသော transformer အသစ် တစ်လုံးအား ဝယ်ယူရန် ကန့်သတ်ချက်အချို့ရှိသော အခြေအနေတွင်အသုံးဝင်ပါသည်။
- နားလည်ထားရမည့် အချက်တစ်ခုအနေနှင့် ခွဲဖြာမည့် current သည် impedance နှင့် ပြောင်းပြန် အချိုးကျကာ impedance သေးသည်နှင့် မြင့်မားသော current စီးစေပါသည်။ ထို့ကြောင့် loading ကြီးမားသော အခါတွင် lower impedance ရှိသော transformer တွင် overloading ဖြစ်နိုင်ကာ percentage impedance မြင့်သော transformer တွင်မူ loading နည်းပါးပေမည်။
- **ဥပမာ** - 2000 kVA ရှိကြပြီး တစ်လုံးတွင် 5.75% impedance ရှိကာ အခြား တစ်လုံးတွင် 4% impedance ရှိကြပြီး၊ တူညီသော turn ratio များလည်း ရှိကြသော transformer နှစ်လုံးတို့အား 3500 kVA load ဖြင့်ချိတ်ဆက်ပါမည်။
- Transformer-1 အပေါ်ရှိ loading=kVA_1 = 348 / (348 + 500) x 3500 = 1436 kVA
- Transformer-2 အပေါ်ရှိ loading=kVA_2 = 500 / (348 + 500) x 3500 = 2064 kVA
- transformer percent impedance များ match ဖြစ်ခြင်းမရှိသည့်အတွက် combine kVA rating ကို ထမ်းနိုင်ခြင်းမရှိပေ။ transformer များ အကြား loading ခွဲဝေမှုသည်လည်း မညီပေ။ combine kVA loading အောက်နည်းသော အခြေအနေတွင် 4% impedance transformer တွင် 3.2% မျှ overload ဖြစ်ကာ 5.75% impedance transformer တွင်မူ ဝန်အား 72% ရှိပါသည်။

Case 4: Unequal Impedance & KVA Same Ratios:

- ယခု ပြဆိုမည့်အခြေအနေမျိုးသည် industrial နှင့် commercial facilities တို့တွင် အသုံးအလွန်နည်းပါးပြီး kVA မတူညီကြကာ percentage impedance လည်း မတူညီကြသော transformer တို့အား common bus တစ်ခုတွင် ဆက်သွယ်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ သို့သော် အခြေအနေတစ်ခုတွင် single-ended substation နှစ်ခုအား bussing ဖြင့်ဖြစ်စေ၊ သို့မဟုတ် cable ဖြင့် ဖြစ်စေ တွဲထားခြင်းအားဖြင့် large load အား start လုပ်ရာတွင် ကောင်းမွန်သော voltage ရရှိစေရန် အထောက်အကူပြုပါသည်။
- percent impedance နှင့် kVA ratings များ မတူညီကြခြင်းကြောင့် ယင်း transformer တို့အား loading လုပ်ရာတွင် သတိနှင့် လုပ်ဆောင်သင့်ပါသည်။
- **ဥပမာ** - 5.75% impedance ရှိသော 3000 kVA (kVA_1) transformer နှင့် 4% impedance ရှိသော 1000 kVA (kVA_2) တို့သည် တူညီသော turn ratio ရှိကြကာ ယင်း transformer နှစ်လုံးတို့အား 3500 kVA common load ဖြင့် ချိတ်ဆက်ပါမည်။
- Transformer-1 အပေါ်ရှိ loading =kVA_1 = 522 / (522 + 250) x 3500 = 2366 kVA
- Transformer-2 အပေါ်ရှိ loading =kVA_2 = 250 / (522 + 250) x 3500 = 1134 kVA
- 1000 kVA transformer တွင် percentage impedance နည်းသောကြောင့် combine rated load အောက်နည်းသော အခြေအနေတွင် overload ဖြစ်ပါသည်။

Case 5: Equal Impedance & KVA Unequal Ratios:

- Voltage အနည်းငယ်မျှ ကွာဟမှုလေးသည်ပင်လျှင် current များစွာအား circulate လုပ်စေပါသည်။ အရေးကြီးစွာညွှန်ပြရလျှင် အပြိုင်ချိတ်ဆက်မည့် transformer တို့တွင် tap connection သည် အမြဲ တူညီနေရမည် ဖြစ်ပါသည်။
- Circulating current သည် load နှင့် load ခွဲဝေမှုတို့အပေါ်တွင် တည်မှီခြင်း မရှိပေ။ transformers ကို fully loaded သုံးစွဲမည်ဆိုလျှင် ယင်း circulating current ကြောင့် တစ်စုံတစ်ရာသော ပမာဏရှိသော overheating ဖြစ်ပေမည်။
- မှတ်သားရန်မှာ circulating current သည် line အတွင်း မစီးဆင်းသောကြောင့် monitoring equipment အား common connection point ၏ upstream သို့မဟုတ် downstream တွင် တပ်ဆင်မည်ဆိုပါက တိုင်းတာ ရရှိနိုင်မည် မဟုတ်ပေ။
- **Example:** 2000 kVA transformer နှစ်လုံးအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ရာတွင် transformer တစ်လုံးစီသည် 5.75% impedance ရှိကာ တူညီသော X/R ratio (8) ရှိကြပြီး transformer 1 ၏ tap သည် nominal မှ 2.5% သို့

adjust လုပ်ထားပြီး transformer 2 ၏ tap မှာမူ nominal တွင် ရှိပါသည်။ percent circulating current (%IC) မည်မျှနည်း။

- $\%Z_1 = 5.75$, So $\%R' = \%Z_1 / \sqrt{[(X/R)^2 + 1)]} = 5.75 / \sqrt{((8)2 + 1)}=0.713$
- $\%R_1 = \%R_2 = 0.713$
- $\%X_1 = \%R \times (X/R)=\%X_1= \%X_2= 0.713 \times 8 = 5.7$
- Let %e = difference in voltage ratio expressed in percentage of normal and $k = kVA_1/ kVA_2$
- **Circulating current %IC = $\%eX100 / \sqrt{(\%R_1+k\%R_2)^2 + (\%Z_1+k\%Z_2)^2}$.**
- $\%IC = 2.5x100 / \sqrt{(0.713 + (2000/2000)X0.713)^2 + (5.7 + (2000/2000)X5.7)^2}$
- $\%IC = 250 / 11.7 = 21.7$
- circulating current သည် full load current ၏ 21.7% ရှိပါသည်။

Case 6: Unequal Impedance, KVA & Different Ratios:

- ယခုပြဆိုမည့် အခြေအနေမျိုးသည် လက်တွေ့နယ်ပယ်တွင် ဖြစ်နိုင်ချေ မရှိပေ။
- Transformer နှစ်လုံးစလုံးတို့၏ ratio များနှင့် impedance တို့သည် မတူကွဲပြားကြကာ၊ ယင်းအချက်ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော circulating current သည် transformer တို့၏ load current တို့နှင့်မျှဝေလိုက်ခြင်းဖြင့် transformer တစ်လုံးစီတို့၏ အမှန်တစ်ကယ် total current ဖြစ်စေပါသည်။
- unity power factor အခြေအနေတွင် မတူညီသော turn ratio ကြောင့် circulating current သည် 10% မျှရှိကာ စုစုပေါင်း current ၏ 0.5% မျှကိုဖြစ်စေပါသည်။ power factor နိမ့်ချိန်တွင် circulating current သည် သိသိသာသာ ပြောင်းလည်းပါသည်။
- **ဥပမာ** - 5.75% impedance နှင့် X/R ratio တန်ဘိုး 8 ရှိသော $2000kVA_1$ transformer တစ်လုံးနှင့် 4%impedance နှင့် X/R ratio တန်ဘိုး 5 ရှိသော $1000kVA_2$ transformer တစ်လုံးတို့အား အပြိုင်ချိတ်ထားကာ tap အား $2000kVA_1$ transformer တွင် 2.5% ထားရှိပြီး $1000kVA_2$ transformer တွင် မူ norminal အနေအထားတွင် ထားရှိပါသည်။
- $\%Z_1 = 5.75$, So $\%R' = \%Z_1 / \sqrt{[(X/R)^2 + 1)]} = 5.75 / \sqrt{((8)^2 + 1)}=0.713$
- $\%X_1= \%R \times (X/R)=0.713 \times 8 = 5.7$
- $\%Z_2= 4$, So $\%R_2 = \%Z_2 /\sqrt{[(X/R)^2 + 1)]}= 4 / \sqrt{((5)^2 + 1)} =0.784$
- $\%X_2 = \%R \times (X/R)=0.784 \times 5 = 3.92$
- Let %e = voltage ratio မတူညီမှုကို normal value ၏ percentage k ဖြင့်ဖော်ပြသော် $= kVA_1/ kVA_2$
- Circulating current $\%I_C = \%e \times 100 / \sqrt{(\%R_1+k\%R_2)^2 + (\%Z_1+k\%Z_2)^2}$.

- $\%I_C = 2.5 \times 100 / \sqrt{(0.713 + (2000/2000)\times0.713)^2 + (5.7 + (2000/2000)\times5.7)^2}$
- $\%I_C = 250 / 13.73 = 18.21$.
- circulating current သည် full load current ၏ 18.21% မျှ ရှိပါသည်။

3. **Same polarity:**

- transformer တို့၏ polarity ဆိုသည်မှာ ယင်း transformer ၏ secondary တွင်ဖြစ်ပေါ်သော induced emf ၏ instantaneous direction ကိုဆိုလိုပါသည်။ အကယ်၍ transformer နှစ်လုံးတို့ရှိ induced emf တို့၏ instantaneous direction များသည် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ဆန့်ကျင်နေပါက တူညီသော power input ကို ရယူနေလင့်ကစား ယင်းတို့အား ဆန့်ကျင်ဘက် polarity များရှိကြသည့် transformer များဟု ဆိုနိုင်ပါသည်။
- transformer များအားယင်းတို့၏ polarity များအတိုင်း ကောင်းမွန်စွာ ဆက်သွယ်သင့်ပါသည်။ ယင်းတို့အား ဆက်သွယ်ရာတွင် polarity အမှန်အတိုင်း မဆက်သွယ်ထားခဲ့ပါက အပြိုင်ချိတ်ဆက်သော အခါတွင် secondary winding တွင်ဖြစ်ပေါ်သည့် emf နှစ်ခုတို့သည် ယင်းတို့ရှိနေရာ secondary circuit တွင် short circuit ကို ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။
- အပြိုင်ချိတ်ဆက်လိုသော transformer တို့၏ Polarity များတို့သည် တူညီကြရမည်ဖြစ်ကာ ထိုသို့ မဟုတ်ခဲ့ပါက ယင်း transformer တို့တွင် load မရှိနေသော်လည်း ကြီးမားသော circulating current ကို ဖြစ်ပေါ်စေပါသည်။
- Transformer နှစ်လုံးတို့သည် တူညီသော input power ကို ရယူကြကာ ယင်းတို့၏ secondary emf တို့တွင် တူညီသော instantaneous direction များလည်း ရှိကြပါက ယင်း transformer တို့အား polarity တူ transformer များအဖြစ် ဆိုနိုင်ပါသည်။

4. **Same phase sequence:**

- Transformer နှစ်လုံးတို့၏ line voltages များ၏ phase sequence များတို့သည် three-phase transformer နှစ်လုံးတို့ အပြိုင်ဆက်သွယ်ရာတွင် ထပ်တူထပ်မျှ တူညီကြရမည်ဖြစ်ပါသည်။ phase sequence များ မတူညီခဲ့ကြပါက cycle တစ်ခုစီတွင် phase အတွဲတစ်ခုစီ (AB, BC နှင့် CA အစရှိသော) တွင် short circuit ဖြစ်နေပေမည်။
- **ထို့ကြောင့် ယင်းသို့သော အခြေအနေအား transformer များ အပြိုင်ဆက်သွယ်ရာတွင် တိကျစွာလိုက်နာဆောင်ရွက်ရန် မဖြစ်မနေ အထူးလိုအပ်ပါသည်။**

5. Same phase angle shift :(Zero relative phase displacement between the secondary line voltages):

- Secondary voltage တွင် မတူကွဲပြားသော magnitude များနှင့် phase displacement များရရှိနိုင်ရန် transformer winding များအား နည်းလမ်းပေါင်းများစွာဖြင့် ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။ ထိုသို့သော transformer connection များအား ထင်ရှားသော vector group များအနေဖြင့် ခွဲခြားထားနိုင်ပါသည်။
- Group 1: Zero phase displacement (Yy0, Dd0, Dz0)

  Group 2:180° phase displacement (Yy6, Dd6, Dz6)

  Group 3: -30° phase displacement (Yd1, Dy1, Yz1)

  Group 4: +30° phase displacement (Yd11, Dy11, Yz11)
- Secondary side line voltage များတွင် zero relative phase displacement ရှိနေပါက ယင်းနှင့် group တူသော transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။ ဥပမာအားဖြင့် Yd1 နှင့် Dy1 connections များ ရှိကြသော transformer နှစ်လုံးတို့အား အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။
- Group 1 နှင့် 2 အတွင်းရှိ transformer တို့သည် ယင်းတို့ အုပ်စုအတွင်းရှိ transformer များ ကိုသာ အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။ သို့သော် group 3 နှင့် 4 အတွင်းရှိ transformer များမှာမူ ယင်းတို့အနက်တစ်ခု၏ phase sequence ကို ပြောင်းပြန်လုပ်ခြင်းဖြင့် အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။ ဥပမာအားဖြင့် Yd11 connection (အုပ်စု 4) ရှိသော transformer နှင့် Dy1 connection (အုပ်စု 3) ရှိသော transformer တို့တွင် Dy1 connection ရှိသော transformer ၏ primary နှင့် secondary terminal များ နှစ်ဖက်စလုံးတို့တွင် phase sequence ပြောင်းပြန်လုပ်ကာ အပြိုင်ဆက်သွယ်နိုင်ပါသည်။
- Dy1 နှင့် Dy11 တို့အား အပြိုင်ဆက်သွယ်မှုပြုရာတွင် transformer တစ်ခု၏ incoming phases နှစ်ခုနှင့် တူညီသော outgoing phases နှစ်ခုတို့အား crossing လုပ်လျှက် ဆက်သွယ်ပါမည်။ ထို့ကြောင့် Dy11 transformer ရှိပါက primary နှင့် secondary တို့ရှိ B နှင့် C အား cross လုပ်ခြင်းဖြင့် +30 ဒီဂရီ phase angle မှ -30 ဒီဂရီ phase angle သို့ shift ဖြစ်သွားကာ Dy1 connection ရှိသော trasfomer နှင့် အထက်ဖော်ပြပြီးခဲ့သည့် အခြားသော အချက်အလက်များ နှင့် ကိုက်ညီပြေလည်သည်နှင့် အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပေမည်။

6. Same KVA ratings:

- နှစ်လုံး သို့မဟုတ် ယင်းထက်ပိုသော transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်မည်ဆိုပါက ယင်းတို့အကြားရှိ % load sharing သည် ယင်းတို့၏ rating အပေါ်တွင်မူတည်ပါသည်။ အားလုံးတွင် တူညီသော rating ရှိပါက load များအား ညီမျှစွာ share လုပ်ပေမည်။
- Transformer တို့တွင် kVA rating များ မတူညီကြပါက ယင်းတို့သည် လက်တွေ့အားဖြင့် load တစ်ခုအား ယင်းတို့၏ rating များအလိုက် အချိုးကျစွာ share လုပ်ကြမည်ဖြစ်ကာ voltage ratio များ ထပ်တူညီကြပြီး၊ percentage impedance များလည်း ထပ်တူညီကြသည် သို့မဟုတ် ထပ်တူနီးပါးဖြစ်ကြသည်ဆိုပါက ယင်းအခြေအနေတွင် transformer နှစ်လုံးစလုံးမှစုစုပေါင်း rating ၏ 90% မျှ ကို ပုံမှန်အားဖြင့် ရရှိနိုင်ပါသည်။
- kVA rating သည် 2:1 မျှ ကွာဟ နေပါက ယင်းသို့သော transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။
- မတူညီသော kVA rating များ ရှိကြသော transformer များ အား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ရာတွင် load ကို ခွဲဝေရာ၌ စုစုပေါင်း load အား transformer တစ်လုံးစီမှ သယ်ဆောင်နိုင်သည့် အချိုးပမာဏ အတိုင်းမျှဝေမည်ဖြစ်ပါသည်။ တိကျသော load ခွဲဝေမှုကို ရရှိစေရန်အတွက်မူ transformer တို့တွင် တူညီသော turn ratio များနှင့် transformer အားလုံးတို့တွင် တူညီသော percentage impedance တန်ဘိုးများ ရှိကြရမည့်အပြင် ယင်း percentage သည်လည်း သက်ဆိုင်ရာ transformer ၏ kVA ပေါ်တွင် အခြေခံဖော်ပြမှုဖြစ်ပါသည်။ resistance အား reactance တန်ဘိုးနှင့် အချိုးချထားသော တန်ဘိုးမှာလည်း transformer တိုင်းတွင် တူညီရပါမည်။ ကောင်းမွန်စွာ operating လုပ်နိုင်ရန် ratio နှင့် impedance မည်သို့သော အတွဲမဆိုတို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် circulating current သည် smaller unit မှ full load rated current ၏ 10% ထက်ကျော်လွန်မှု မရှိစေရပါ။

7. Identical tap changer and its operation:

- အရေးကြီးသော အချက်တစ်ခုအနေနှင့် မှတ်သားထားရန်မှာ three phase transformer များအားလုံးအတွက် tap changing switch အား တူညီသော position တွင် ထားရှိခြင်းဖြစ်ကာ secondary voltage များ တူညီမှုရှိကြောင်း ကို စစ်ဆေး အတည်ပြုရပေမည်။ voltage tap ပြောင်းရန်လိုအပ်ပါက tap သုံးခုစလုံးအား တူညီစွာ operate လုပ်ရပါမည်။ SF6 ၏ OL Setting (On Load Setting ဖြစ်မည်ထင်ပါသည်) သည်လည်း ထပ်တူညီနေရပါမည်။ substation သည် full load condition တွင် operating လုပ်နေပါက transformer တစ်လုံး trip ဖြစ်သည်နှင့် transformer သုံးလုံးစလုံး တစ်ဆက်တည်း tripping ဖြစ်သွားပေမည်။
- Transformer များ၏ output voltage အား Off Circuit Tap Changer (manual tap changing) သော်လည်းကောင်း On – Load Tap Changer-OLTC (Automatic Changing) ဖြင့်သော်လည်းကောင်း control လုပ်နိုင်ပါသည်။

- On Load Tap Changer (OLTC) ပါသော transformer တို့သည် closed loop system ဖြစ်ကာ အောက်ပါ component များ ပါဝင်ပါသည်။
- (1) AVR (Automatic Voltage Regulator - အီလက်ထရွန်နစ်နည်းပညာသုံး ပရိုဂရမ်ရေးသွင်းနိုင်သော ပစ္စည်း) ယင်းသို့သော AVR ကို အသုံးပြုကာ transformer များ၏ output voltage ကို set လုပ်ထားနိုင်ပါသည်။ transformer ၏ output voltage အား AVR မှ တစ်ဆင့် LT Panel သို့ ပေးပို့ပါသည်။ AVR သည် SET voltage နှင့် output voltage တို့အား နှိုင်းယှဉ်ကာ လိုအပ်ပါက error signal ကို RTCC Panel မှ တစ်ဆင့် OLTC သို့ပေးပို့ပါသည်။ ယင်း AVR ကို RTCC အတွင်း ထည့်သွင်း တည်ဆောက်ထားပါသည်။
- (2) RTCC (Remote Tap Changing Cubicle)
  ယင်း panel အတွင်းတွင် AVR၊ Tap Position များအား ဖော်ပြသည့် Display၊ Voltage၊ Raise နှင့် Lower စသည့် Taps relay များ၏ အနေအထား အား ဖော်ပြမည့် LED များ၊ Auto နှင့် Manual တို့အား ရွေးချယ်နိုင်သည့် selector switch များ ပါရှိကာ AUTO MODE တွင် voltage အား AVR မှ control လုပ်ပါသည်။ MANUAL MODE တွင်မူ operator သည် voltage များ တိုးခြင်း လျော့ခြင်း စသည်တို့အား RTCC မှ Push Button ကိုအသုံးပြုကာ Tap များအား အပြောင်းအလည်းလုပ်ပေးပါသည်။
- (3) OLTC အား transformer တွင် mount လုပ်ထားပါသည်။ ယင်းတွင် RTCC မှ control လုပ်ထားသော transformer tap များအား ပြောင်းလည်းပေးနိုင်သည့် motor တစ်လုံးပါဝင်ပါသည်။
- Transformer နှစ်လုံးစလုံးတို့တွင် tap များအားလုံးအတွက် တူညီသော voltage ratio များ ရှိကြသည်ဖြစ်ကာ transformer များအား အပြိုင်ချိတ်လိုက်သည်နှင့် တူညီသော tap position အတိုင်း operate လုပ်ပေမည်။ OLTC နှင့် RTCC panel တို့ ရှိပါက RTCC တစ်လုံးသည် master အနေနှင့် အလုပ်လုပ်ကာ အခြား တစ်လုံးမှာမူ follower အနေဖြင့် transformer ၏ tap position အား maintain လုပ်ထားပေမည်။
- သို့သော် transformer နှစ်လုံးတို့၏ impedance များမတူညီခဲ့လျှင် နှင့် on load tap changer ၏ tap များသည် mechanical delay ကြောင့် ခဏတာမျှ mismatch ဖြစ်ခဲ့ပါလျှင် tank နှစ်ခုအတွင်း circulating current သည် စီးဆင်းပေမည်။ ယင်း circulating current သည် protective relay များ လုပ်ဆောင်မှုအား မှားယွင်းစေပါသည်။

Other necessary condition for parallel operation

1. parallel units များအားလုံးတို့အား same network မှ သာ supply ပေးရမည်။
2. Transformer များမှ အပြိုင်ဆက်မည့်နေရာသို့ secondary cabling သည် အနီးစပ်ဆုံးအလျား နှင့် characteristics များ အနီးစပ်ဆုံး တူညီရပါမည်။
3. လိုက်ဖက်ရာ phase များအကြား voltage difference သည် 0.4% ထက်မကျော်လွန်ရပေ။

4. Transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ရာတွင် secondary side တွင် fault current သည် အလွန်မြင့်မားပါသည်။ transformer တစ်လုံး၏ percentage impedance အား 6.25% ရှိသည်ဟု ဆိုကြပါစို့။ ထိုအခါတွင် short circuit MVA သည် 25.6MVA ရှိကာ short circuit current သည် 35kA ရှိပေမည်။
5. တူညီသော rating များနှင့် တူညီသော percentage impedance များ ရှိကြသည့် transformer များ ဆိုပါက၊ downstream short circuit current သည် transformer သုံးလုံးအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ခဲ့ပါက သုံးဆမျှ (105kA) ရှိပေမည်။ ဆိုလိုသည်မှာ ACB များ၊ MCCB များ နှင့် switch board များ တို့သည် 105kA ပမာဏမျှရှိသော short circuit current ကို ခံနိုင်ရည်ရှိရမည်ဟု ဆိုလိုပါသည်။ ယင်းသည် maximum current ဖြစ်ပါသည်။ ယင်း current ပမာဏသည် switch board များ တည်နေရာ၊ cable များနှင့် ယင်းတို့၏ အလျားစသည်တို့အပေါ်တွင်မူတည်နေသည်။ သို့သော် ယင်းသို့သော အခြေအနေကိုလည်း ထည့်သွင်းစဉ်းစားထားရမည်ဖြစ်ပါသည်။
6. Transformer ၏ secondary side တွင် directional relay များအားလည်း တပ်ဆင်ထားသင့်ပါသည်။
7. Transformer တစ်လုံး၏ percentage impedance သည် အခြားတစ်လုံး၏ 92.5% နှင့် 107.5% အကြားရှိရပါမည်။ ထိုသို့မဟုတ်ပါက ယင်း transformer နှစ်လုံးအကြားတွင် circulating currents များ အများအပြားစီးဆင်းပါမည်။

Transformer များ အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း အနှစ်ချုပ်

Transformer Parallel Connection Types	Equal Loading	Unequal Loading	Overloading Current	Circulating Current	Recomm. connection
Equal Impedance & Ratio ,Same KVA	Yes	No	No	No	Yes
Equal Impedance & Ratio But different KVA	No	Yes	No	No	Yes
Unequal Impedance But Same Ratio& KVA	No	Yes	Yes	No	No
Unequal Impedance & KVA But Same Ratio	No	Yes	Yes	No	No
Unequal Impedance & Ratio But Same KVA	Yes	No	Yes	Yes	No
Unequal Impedance & Ratio & different KVA	No	No	Yes	Yes	No

အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်သော အတွဲများ

- အောက်ပါ Vector group ရှိသော Transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်နိုင်ပါသည်။

Operative Parallel Operation		
Sr.No	Transformer-1	Transformer-2
1	ΔΔ	ΔΔ or Yy
2	Yy	Yy or ΔΔ
3	Δy	Δy or YΔ
4	YΔ	YΔ or Δy

- Single-phase transformers များအား 3-phase transformer banks အဖြစ်ပုံစံပြောင်းကာ 3-phase Power system တွင် အသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

- Transformer သုံးလုံးအား 3-phase circuit များအဖြစ် ဖန်တီးရာတွင် နည်းလမ်း လေးခုဖင့် ဆက်သွယ်အသုံးပြုနိုင်ပြီး ယင်းတို့မှာ Δ-Δ, Y-Y, Y-Δ, and Δ-Y connections များ ဖြစ်ကြပါသည်။
- Δ-Δ connection ကောင်းမွန်သော အချက်မှာ transformer တစ်လုံးပျက်သွားခြင်း သို့မဟုတ် circuit မှ ဖယ်ရှားမည်ဆိုပါက ကျန်နှစ်လုံးတို့သည် open-Δ or V connection ဖြင့် ဆက်လက်အသုံးပြုသွားနိုင်ခြင်းပင်ဖြစ်ပါသည်။ ထို့သို့သောအကြောင်းကြောင့် transformer အတွဲသည် 3-phase currents and voltages များအား ယင်းတို့၏ correct phase relationship များအတိုင်းရှိနေစေပါသည်။ သို့သော် transformer bank ၏ capacity သည် မူလ capcity ၏ 57.7% (1/√3) မျှ ကိုသာ လျော့နည်း ရရှိနိုင်ပါသည်။
- Y-Y connection တွင်မူ line voltage ၏ 57.7% မျှ ကိုသာ winding တစ်ခုစီကို apply လုပ်သော်လည်း line current မှာမူ winding တစ်ခုစီအတွင်း စီးဆင်းပေသည်။ Y-Y connection ကို အသုံးပြုမှု နည်းပါးပါသည်။
- Δ-Y connection ကို stepping up voltages အနေဖြင့် အသုံးပြုကြပါသည်။

အပြိုင်မဆက်သွယ်နိုင်သော အတွဲများ

- အောက်ဖော်ပြပါ Vector group ရှိသော Transformer များအား အပြိုင်မချိတ်ဆက်နိုင်ပါ။

Inoperative Parallel Operation		
Sr.No	Transformer-1	Transformer-2
1	ΔΔ	Δy
2	Δy	ΔΔ
3	YΔ	Yy
4	Yy	YΔ

Transformer များအား Synchronization လုပ်ရာတွင် စစ်ဆေးရမည့် အချက်များ

- Transformer အား Synchronization လုပ်ရာတွင် အောက်ပါအချက်တစ်ခုစီအား လိုက်နာသင့်ပါသည်။
- synchronizing relay နှင့် synchro scope တို့အား စစ်ဆေးပါ။
- Transformer ၏ secondary သည် ဗို့အားနိမ့် LT မဖြစ်ပါက synchronizing relay ကို သေချာစွာစစ်ဆေးကာ system ကို commissioning ကောင်းစွာပြုလုပ်ပေးရပါမည်။ Relay အား တပ်ဆင်ပြီးနောက် ယင်းအား supply တစ်ခုပေးကာ အလုပ်ကောင်းစွာ လုပ်မလုပ်အား စစ်ဆေးပေးရပါမည်။

- Synchronizing လုပ်ရန်အတွက် supply voltage နှစ်ခုစလုံးအား စစ်ဆေးရမည်ဖြစ်ပါသည်။ transformer 1 ၏ phase L1 နှင့် transformer 2 ၏ phase L1 တို့အား multimeter ဖြင့် စစ်ဆေးသင့်ပါသည်။ ထို့နောက် transformer 1 ၏ phase L2 နှင့် transformer 2 ၏ phase L2 တို့အား စစ်ဆေးပြီး transformer 1 ၏ phase L3 နှင့် transformer 2 ၏ phase L3 တို့အား စစ်ဆေးပါမည်။ ထိုသို့ စစ်ဆေးသော case အားလုံးတို့တွင် multimeter သည် 0 voltage များကိုသာ သီအိုရီအရ ညွှန်ပြရမည်ဖြစ်ပါသည်။ ယင်းသို့သော စစ်ဆေးမှုအား synchronizing breaker တွင်သာ ပြုလုပ်ရမည်ဖြစ်ပါသည်။ breaker outgoing terminal များအား လည်း စစ်ဆေးရမည်ဖြစ်ကာ ထိုသို့ စစ်ဆေးရာတွင် breaker နှစ်ခုစလုံးမှ L1 terminal များတို့သည် panel မှ တူညီသော main bus bar ဆီသို့ လာရောက်ဆက်သွယ်ကြသည်ကို စစ်ဆေးရပါမည်။ ထို့အတူ L2 နှင့် L3 တို့ကိုလည်း စစ်ဆေးရပါမည်။
- LT တွင် synchro check လုပ်ရန် အကောင်းဆုံးနည်းလမ်းမှာ complete panel အား source 1 မှ သည် အခြားသော incoming breaker terminal ၏ outgoing terminal များ တိုင်အောင် charge လုပ်ခြင်းဖြစ်ပါသည်။ ထို့အခါတွင် incoming breaker ၏ incoming နှင့် outgoing terminal များ ရှိ voltage difference ကို တိုင်းတာ ရန်သာ ရှိပါတော့သည်။ တိုင်းတာရရှိသော တန်ဘိုးသည် 0 နီးပါးသာဖြစ်ပါမည်။
- Circulating current ကို စစ်ဆေးရာတွင် synchronize လုပ်မည့် transformer နှစ်လုံးတို့အား outgoing load မပါရှိပဲ စစ်ဆေးရပါမည်။ ထို့နောက် current ကို စစ်ဆေးပါ။ circulating current ကို ရရှိပါမည်။

Transformer Parallel Operation ပြုလုပ်ခြင်း၏ အကျိုးများ

1) **electrical system ၏ efficiency ကို မြင့်မားစွာ ရရှိစေသည်။**

- ယေဘုယအားဖြင့် electrical power transformer များသည် full load အသုံးပြုချိန်တွင် အမြင့်ဆုံး efficiency ရရှိစေပါသည်။ transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ရာတွင် အသုံးပြုလိုသော အချိန် ရှိ စုစုပေါင်း demand မျှကိုသာ switch လုပ်ခြင်းဖြင့် အသုံးပြုနိုင်ပေသည်။
- Load တိုးလာသောအခါတွင် အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသော transformer တစ်လုံးချင်းစီကိုသာ switch လုပ်ကာသုံးစွဲစေခြင်းဖြင့် လိုအပ်သော demand ကို ပြည့်မီစေပါသည်။ ထိုသို့ အသုံးပြုခြင်းဖြင့် system ၏ maximum efficiency ကိုရရှိစေပါသည်။

2) **electrical system ၏ availability ကို တိုးတက်ရရှိစေပါသည်။**

- Transformer များအား အပြိုင်ချိတ်ဆက်သုံးစွဲခြင်းဖြင့် maintenance လုပ်လိုပါက ကြိုက်နှစ်သက်ရာ transformer အား shutdown လုပ်နိုင်ပါသည်။ အခြား အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသော transformer များသည် power ပြတ်တောက်စေခြင်းမရှိပဲ load ကို ပေးနိုင်ပေမည်။

3) **power system ၏ reliability ကို တိုးတက်စေပါသည်။**

- အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသော transformer များမှ တစ်လုံးသည် fault ကြောင့် trip ဖြစ်သွားခဲ့ပါက ယင်း အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသော transformer များ သည် load ကို မျှဝေယူလိုက်ခြင်းကြောင့် power supply ပြတ်တောက်မှု မဖြစ်ပေါ်စေဘဲ အခြား transformer များအားလည်း overload မဖြစ်စေပါ။

4) **electrical system ၏ flexibility ကို တိုးတက်စေပါသည်။**

- Power system ၏ အနာဂတ် demand သည် အတိုး အလျော့ ရှိနိုင်ပါပေသည်။ အနာဂတ်တွင် power demand သည် တိုးလာမည်ဟု ခန့်မှန်းထားပါက ထိုသို့သော extra demand ကို ပြည့်မှီစေရန် transformer များအား ကြိုတင်စီစဉ်မှုအနေဖြင့် အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသင့်ပါသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အနာဂတ်တွင် တိုးတက်လာနိုင်သော demand ကို မျှော်ကာ transformer အကြီးစား တစ်လုံးအား တပ်ဆင်အသုံးပြုခြင်းသည် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေမကိုက်သကဲ့သို့ မလိုအပ်သော ရင်းနှီးမြှုပ်နှံမှုပင်ဖြစ်ပါသည်။
- ထို့ပြင် အနာဂတ် demand လျော့ကျသွားပါက capital investment နှင့် ယင်းတို့၏ return များ ကာမိစေရန်အတွက် အပြိုင်ဆက်သွယ်ထားမှုကို ဖယ်ရှားလိုက်နိုင်ပါသည်။

Transformer Parallel Operation လုပ်ခြင်း၏ အပြစ်များ

- တိုးမြင့်လာသော short circuit current များကြောင့် breaker capacity ကို တိုးမြှင့်ရန် လိုအပ်ပါသည်။
- Transformer တစ်လုံးမှ တစ်လုံးသို့ စီးမည့် circulating current ဖြစ်မှုအန္တရာယ်ရှိပါသည်။ Circulating current တို့သည် load capability ကို လျော့ကျစေကာ losses ကိုလည်း တိုးပွားစေပါသည်။
- bus ၏ ratings သည်လည်း အလွန်မြင့်မားစေသည်။
- Paralleling transformers များသည် transformer impedance ကို သိသိသာသာ လျော့ကျစေပါသည်။ ထို့ကြောင့် အပြိုင်ချိတ်ဆက်ထားသော transformer များသည် impedance အလွန်သေးငယ်ကာ ထိုသို့သော အကြောင်းကြောင့် short circuit current များအား တိုးတက်စေပါသည်။ ထို့ကြောင့် reactor များ၊ fuse များ၊ impedance မြင့်မားသော bus များ စသည့် current limiter များ လိုအပ်ပါသည်။
- အပြိုင်ချိတ်ထားသော transformer သုံးလုံးအား control လုပ်ရန်နှင့် protection လုပ်ရန်အလွန်ရှုပ်ထွေးပါသည်။
- Main-tie-Main အသုံးပြုမှုသည် လုပ်ငန်းနယ်ပယ်တွင် အသုံးအလွန်များသည့်အတွက်ကြောင့် transformer များ အပြိုင်ချိတ်ဆက်အသုံးပြုမှုသည် အသုံးမများလှတော့ပေ။

Conclusions:

- Transformer များအားအပြိုင် ချိတ်ဆက်ရာတွင် load ကို consider လုပ်ရာ၌ kVA၊ percent impedance များ၊ သို့မဟုတ် X/R ratio များမတူညီမှု စသည်တို့ မဖြစ်ခဲ့လျှင် အလွန်လွယ်ကူပေသည်။ အပြိုင်ချိတ်ဆက်သော transformer တို့တွင် turn ratio များနှင့် percentage impedance များ တူညီခဲ့ပါက transformer တစ်လုံးစီတွင်တူမျှသော load ခွဲဝေမှု ရှိလာပေမည်။ အပြိုင်ချိတ်ဆက်သော transformer တို့၏ kVA rating တို့သည် တူညီကြကာ percent impedance မတူညီခဲ့လျှင် unequal load division ဖြစ်ပေါ်ပေမည်။
- Percentage impedance များမတူညီခြင်းနှင့် kVA မတူညီခဲ့လျှင်လည်း ထို့နည်းအတူပင်ဖြစ်ပေသည်။ transformer တစ်လုံးစီ၏ turn ratio များ မတူညီခဲ့ပါက circulating current စီးဆင်းပေမည်။ ယင်း circulating current ၏ ပမာဏသည် transformer ၏ X/R ratio ပေါ်တွင်လည်း မူတည်ပါသည်။ Delta-delta နှင့် delta-wye ဖြစ်သော transformer များအား အပြိုင်ဆက်သွယ်ခြင်း မပြုသင့်ပေ။

မှီငြမ်း

- Say, M.G. The performance and design of alternating current machines.
- Application Guide, Loading of Transformer, Nashville, TN, USA.
- Toro, V.D. Principles of electrical engineering.
- Stevenson, W.D. Elements of power system analysis.
- MIT Press, Magnetic circuits and transformers, John Wiley and Sons.