

Martin Kanálik

## Vplyv parametrov distribučných transformátorov 22/0,4 kV na potrebu kompenzácie činných strát vplyvom ich prúdu naprázdno

Článok sa zaoberá problematikou potreby kompenzácie strát činného výkonu na distribučných transformátoroch vplyvom ich prúdu naprázdno. Problematika je riešená v súvislosti s otázkou potreby dodatočnej inštalácie nových kondenzátorov na transformátory, v prípade ktorých boli z dôvodu plošnej likvidácie kondenzátorov obsahujúcich nebezpečné PCB látky tieto kondenzátory demontované. V článku je tiež uvedený stručný prehľad historického vývoja elektrických parametrov distribučných transformátorov.

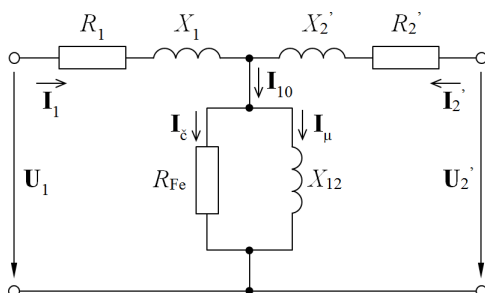
Kľúčové slová: model transformátora, prúd naprázdno, parametre transformátora, činné straty naprázdno

### I. ÚVOD

V auguste 2002 ratifikovala Slovenská republika tzv. Štokholmský dohovor OSN o perzistentných organických látkach, medzi ktoré patria aj polychlórované bifenyly (PCB). Na základe tohto dohovoru sa zaviazala prijať opatrenia vedúce k eliminácii týchto látok do roku 2010. PCB látky sa kvôli svojim fyzikálnym vlastnostiam využívali v elektroenergetike najmä ako náplň kondenzátorov od sedemdesiatych do prvej polovice osemdesiatych rokov minulého storočia. V súvislosti s likvidáciou kondenzátorov obsahujúcich PCB látky boli okrem iného v rámci distribučných sústav Slovenska demontované aj kondenzátory určené na kompenzáciu prúdov naprázdno distribučných transformátorov (DTS). Keďže sa jednalo o plošnú likvidáciu všetkých kondenzátorov obsahujúcich PCB látky, objavila otázka relevantnosti inštalácie nových kondenzátorov určených na kompenzáciu strát činného výkonu od prúdu naprázdno distribučných transformátorov. Vývoj v oblasti distribučných transformátorov však za posledné roky pokročil a dnes vyrábané DTS disponujú úplne odlišnými elektrickými parametrami od transformátorov inštalovaných začiatkom 50-tych rokov. Tento fakt hrá dôležitú úlohu v prípade posudzovania potreby inštalácie kondenzátorov na kompenzáciu prúdu naprázdno DTS. História technických parametrov DTS vyrábaných spoločnosťou BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. je výborne spracovaná v [6].

### II. MATEMATICKÝ MODEL TRANSFORMÁTORA

Pre účely analýzy vplyvu elektrických parametrov transformátora na potrebu kompenzácie činných strát vplyvom jeho prúdu naprázdno bol použitý model jednofázového transformátora v podobe T-článku podľa [1] a [2], ktorého náhradná schéma je zobrazená na Obr. 1.



Obr. 1. Náhradná schéma transformátora

kde

$U_1$	je napätie na vstupnej strane
$U_2'$	je napätie na výstupnej strane prepočítané na vstupnú stranu
$I_1$	je prúd na vstupnej strane
$I_2'$	je prúd na výstupnej strane prepočítaný na vstupnú stranu
$I_{10}$	je prúd naprázdno
$I_\epsilon$	je činná zložka prúdu naprázdno
$I_\mu$	je jalová zložka prúdu naprázdno (magnetizačný rúd)
$R_1$	je rezistencia vstupného vinutia
$R_2'$	je rezistencia výstupného vinutia prepočítaný na stranu vstupného vinutia
$X_1$	je reaktancia vstupného vinutia
$X_2'$	je reaktancia výstupného vinutia prepočítaná na stranu vstupného vinutia
$R_{Fe}$	je činný odpor reprezentujúci tepelné straty v železe, hysterézne straty a straty vírivými prúdmi
$X_{12}$	je vzájomná reaktancia zodpovedajúca časti rozptylového magnetického poľa jedného vinutia, ktorá indukuje napätie v druhom vinutí

Parametre transformátora  $R_1$ ,  $R_2'$ ,  $X_1$ ,  $X_2'$ ,  $R_{Fe}$  a  $X_{12}$ , je možné určiť zo štítkových údajov transformátora pomocou nasledujúcich vzťahov:

$$R_1 = R_2' = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_k \cdot U_{1n}^2}{S_n^2} \quad (1)$$

$$X_1 = X_2' = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left( \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} \right)^2 - \left( \frac{\Delta P_k \cdot U_{1n}^2}{S_n^2} \right)^2} \quad (2)$$

$$R_{Fe} = \frac{\Delta P_0 \cdot U_{1n}^2}{\left( \frac{i_0}{100} \cdot S_n \right)^2} \quad (3)$$

$$X_{12} = \sqrt{\left( \frac{U_{1n}^2}{\frac{i_0}{100} \cdot S_n} \right)^2 - R_{Fe}^2} \quad (4)$$

kde

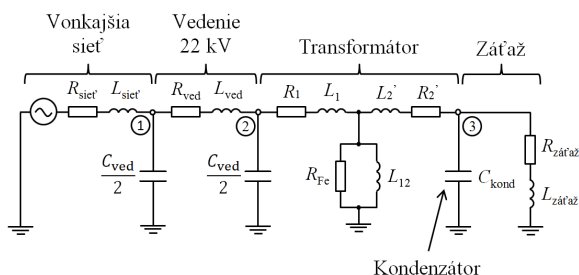
$U_{1n}$	je menovitá hodnota napätia na vstupnej strane (združená)
$S_n$	je menovitý výkon transformátora
$u_k$	je menovitá hodnota napätia nakrátko v percentách
$\Delta P_k$	sú činné straty nakrátko
$i_0$	je prúd naprázdno v percentách
$\Delta P_0$	sú činné straty naprázdno

Štítkové údaje transformátora  $u_k$ ,  $\Delta P_k$ ,  $i_0$  a  $\Delta P_0$  udáva výrobca prípadne sa určujú sa meraním.

Na obrázku 2 je zobrazená jedнопólová schéma modelu 22 kV siete, distribučného transformátora, nn kondenzátora a nn záťaže. Tento model reprezentuje jeden DTS napájaný z vedenia 22 kV. V prípade 22 kV vedenia boli uvažované parametre:  $R_{ved} = 0,434 \Omega/\text{km}$ ,  $L_{ved} = 1,2054 \text{ mH}/\text{km}$ ,  $C_{ved} = 9,6 \text{ nF}/\text{km}$ ,  $l = 1 \text{ km}$ . Vonkajšia sieť bola považovaná za ideálnu (impedancia siete bola takmer nulová). Pomocou tohto modelu je možné vyšetriť pomer medzi stratami činného výkonu na vedení ako aj na samotnom transformátore za rôznych prevádzkových podmienok. V prípade zapojenia transformátora naprázdno bez uvažovania kondenzátora, tečú obvodom kapacitné prúdy vedenia a prúd transformátora naprázdno. Veľkosť kapacitných prúdov v prípade uvažovaného vedenia je približne 38 mA, kým v prípade transformátora aTOHn 334/22 (250 kVA) je veľkosť jalovej zložky prúdu naprázdno približne 20 mA. Z toho je zrejme, že ak sa uvažuje o kompenzácii činných strát od prúdov DTS naprázdno, je vhodné uvažovať aj s kapacitou 22 kV vedení. V tomto konkrétnom prípade je v stave naprázdno v sieti dokonca prebytok kapacitného výkonu a teda nie je potrebné inštalovať žiaden kondenzátor na kompenzáciu jalového výkonu odoberaného transformátorom. Naopak inštalácia akéhokoľvek kondenzátora by zapríčinila zvýšenie celkových činných strát v uvažovanej sieti.

Samozrejme úplne iná situácia nastane v prípade zaťaženia transformátora na jeho menovitý výkon. V takom prípade tečie obvodom okrem kapacitných prúdov vedenia a prúdu naprázdno transformátora aj prúd odoberaný záťažou, ktorý môže nadobúdať až o dva rády väčšie hodnoty ako hodnoty kapacitných prúdov vedenia a prúdov naprázdno transformátora. Veľkosť činných strát na vedení je v takom prípade tvorená takmer výlučne stratami od prúdu tečúceho do záťaže. Z pohľadu uvažovaného modelu je veľkosť celkových činných strát v sieti daná súčtom strát na rezistancii vedenia, strát na rezistancii vinutí transformátora a strát v železe transformátora (na rezistancii  $R_{Fe}$ ). Z uvedeného je zrejme, že veľkosť celkových činných strát v distribučnej sústave závisí aj od parametrov jednotlivých transformátorov.

Vplyv elektrických parametrov distribučných transformátorov na veľkosť činných v distribučnej sústave ako aj prehľad historického vývoja elektrických parametrov jednotlivých transformátorov je uvedený v nasledujúcej kapitole.



Obr. 2. Jedнопólová schéma modelu 22 kV siete, distribučného transformátora, nn kondenzátora a nn záťaže

### III. VPLYV PARAMETROV TRANSFORMÁTORA NA VEĽKOSŤ ČINNÝCH STRÁT

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, v prípade prevádzky transformátora naprázdno, ako aj pod zaťažením, odoberá daný transformátor zo siete prúd naprázdno. Podľa náhradnej schémy na Obr. 1, vplyvom toku tohto prúdu transformátor odoberá v stave naprázdno zo siete nie len činný výkon (činné straty naprázdno) ale aj jalový výkon. Veľkosť tohto jalového výkonu (daného veľkosťou jalovej zložky prúdu naprázdno) je pritom omnoho väčšia ako veľkosť činného výkonu (strát) naprázdno. Veľkosť jalového výkonu odoberaného transformátorom v stave naprázdno je možné na základe jeho parametrov určiť podľa vzťahu:

$$\Delta Q_0 = \sqrt{\left(\frac{i_0}{100}\right)^2 \cdot S_n^2 - \Delta P_0^2} \quad (5)$$

V tabuľkách 2 až 4 je uvedený prehľad vývoja elektrických parametrov distribučných transformátorov spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. s menovitým výkonom 250 kVA až 630 kVA s uvedením veľkosti spotreby jalového výkonu v stave naprázdno určeného podľa vzťahu (5). Z tabuliek je zrejme, že veľkosť jalového výkonu naprázdno v súčasnosti vyrábaných transformátorov je viac ako 20-násobne nižšia ako v prípade transformátorov vyrábaných začiatkom 50-tych rokov minulého storočia a viac ako 5-násobne nižšia ako v prípade transformátorov vyrábaných v druhej polovici 60-tych rokov minulého storočia.

TABUĽKA I

Prehľad vývoja elektrických parametrov distribučných transformátorov spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. s menovitým výkonom 250 kVA

Typ	$\Delta P_0$ [W]	$\Delta P_{k,75}$ [W]	$u_k$ [%]	$i_0$ [%]	$\Delta Q_0$ [VAr]	Od roku
aTO 33/22	1 600	6 100	3,9	7,20	17 929	1952
aTO 331/22	1 450	5 900	4,2	5,90	14 679	1959
aTO 332/22	730	5 500	4,2	1,90	4 694	1966
aTO 334/22	620	6 400	4,0	1,70	4 205	1974
aTOHn 334/22	440	3 250	4,0	0,35	756	1994
TOHn 338/22	440	3 250	4,0	0,35	756	1999

TABUĽKA II

Prehľad vývoja elektrických parametrov distribučných transformátorov spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. s menovitým výkonom 400 kVA

Typ	$\Delta P_0$ [W]	$\Delta P_{k,75}$ [W]	$u_k$ [%]	$i_0$ [%]	$\Delta Q_0$ [VAr]	Od roku
aTO 35/22	2 100	9 700	5,2	6,60	26 316	1952
aTO 351/22	1 900	8 100	6,0	5,60	22 319	1959
aTO 352/22	1 010	8 000	6,0	1,50	5 914	1966
aTO 354/22	850	4 800	6,0	1,30	5 130	1974
aTOHn 354/22	630	4 600	6,0	0,30	1 021	1994
TOHn 358/22	630	4 600	6,0	0,30	1 021	1999

TABUĽKA III

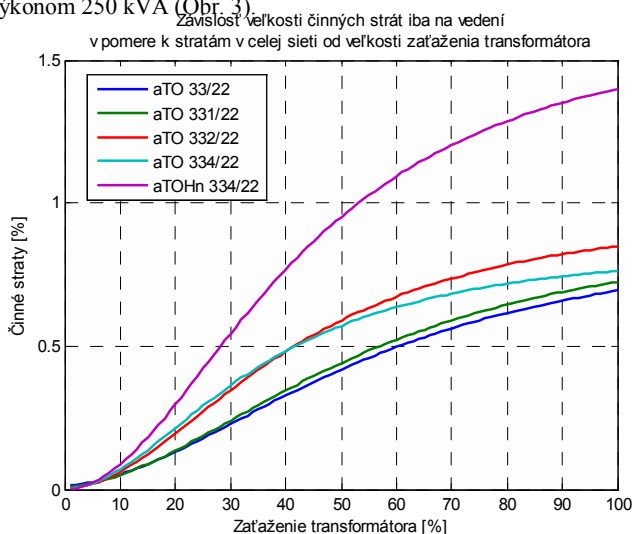
Prehľad vývoja elektrických parametrov distribučných transformátorov spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. s menovitým výkonom 630 kVA

Typ	$\Delta P_0$ [W]	$\Delta P_{k,75}$ [W]	$u_k$ [%]	$i_0$ [%]	$\Delta Q_0$ [VAr]	Od roku
aTO 37/22	2 850	13 300	5,0	6,20	38 956	1952
aTO 371/22	2 600	11 300	6,0	5,20	32 657	1959
aTO 372/22	1 360	11 000	6,0	1,20	7 437	1966
aTO 374/22	1 210	6 800	6,0	1,10	6 824	1974
aTOHn 374/22	850	6 500	6,0	0,25	1 326	1994
TOHn 378/22	850	6 500	6,0	0,25	1 326	1999

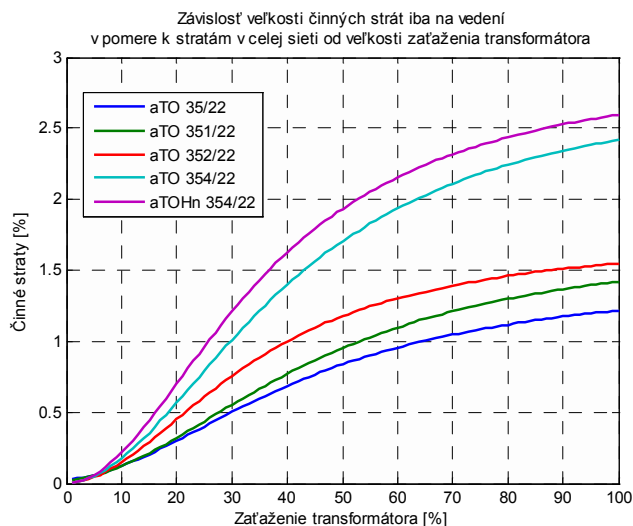
Údaje v stĺpci  $\Delta Q_0$  v tabuľkách I až III zároveň udávajú maximálnu hodnotu menovitého výkonu kondenzátora potrebného na kompenzáciu jalovej zložky prúdu naprázdno. V praxi sa však dodnes používa metodika pridelovania výkonu kondenzátora na základe menovitého výkonu transformátora uvedená v tabuľke IV. Tieto hodnoty však zodpovedajú spotrebe jalového výkonu naprázdno transformátorov vyrábaných v druhej polovici 60-tych rokov minulého storočia.

Ako je zrejme z Obr. 2, inštaláciou kondenzátora určeného na kompenzáciu jalovej zložky prúdu naprázdno na nn strane DTS sa straty činného výkonu na transformátore neznížia – aj po inštalácii kondenzátora odoberá transformátor v stave naprázdno približne rovnako veľký prúd, ktorý vytvorí na odpore  $R_{Fe}$  takmer rovnako veľké straty činného výkonu ako v prípade bez kondenzátora. Rozdiel medzi prípadom bez kondenzátora a s kondenzátorom je v tom, odkiaľ transformátor jalovú zložku prúdu odoberá. V prípade bez uvažovania kondenzátora je jalová zložka prúdu naprázdno (pri zapojení transformátora naprázdno, či zaťaženi transformátora záťažou indukčného charakteru) odoberaná z vonkajšej siete. V prípade inštalácie kondenzátora je jalová zložka prúdu naprázdno odoberaná z kondenzátora. Inštaláciou kondenzátorov na kompenzáciu činných strát od jalovej zložky prúdu naprázdno je možné ovplyvniť veľkosť činných strát na vedeniach, nie však na transformátoroch.

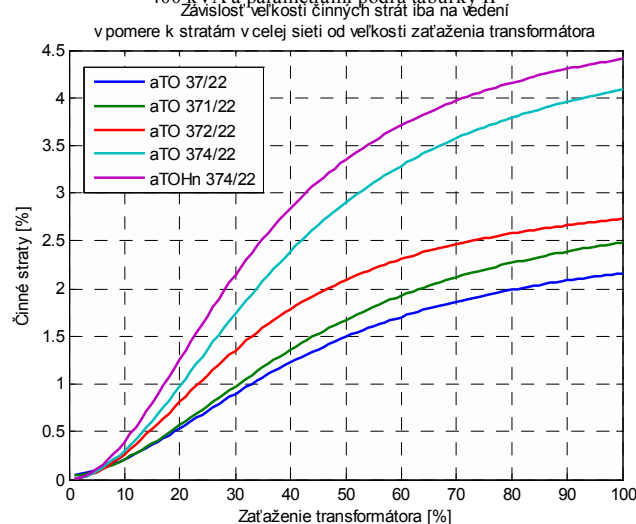
Na Obr. 3 až Obr. 5 je zobrazená závislosť veľkosti činných strát iba na vedení v pomere k stratám v celej sieti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 250 kVA, 400 kVA a 630 kVA bez uvažovania kondenzátora. Účinník záťaže bol uvažovaný 0,95 indukčných. Z obrázkov je zjavný nárast podielu činných strát na vedeniach oproti celkovým stratám v prípade novších typov transformátorov (keďže straty na transformátoroch postupným vývojom klesali). Zároveň je vidieť, že podiel činných strát na vedeniach s rastúcim zaťažením rastie, avšak v prípade uvažovaného modelu predstavuje podiel činných strát na vedení z celkových činných strát (na vedení a transformátore) menej ako 4,5 % v prípade transformátorov s menovitým výkonom 630 kVA (Obr. 5), menej ako 3 % v prípade transformátorov s menovitým výkonom 400 kVA (Obr. 4) a menej ako 1,5 % v prípade transformátorov s menovitým výkonom 250 kVA (Obr. 3).



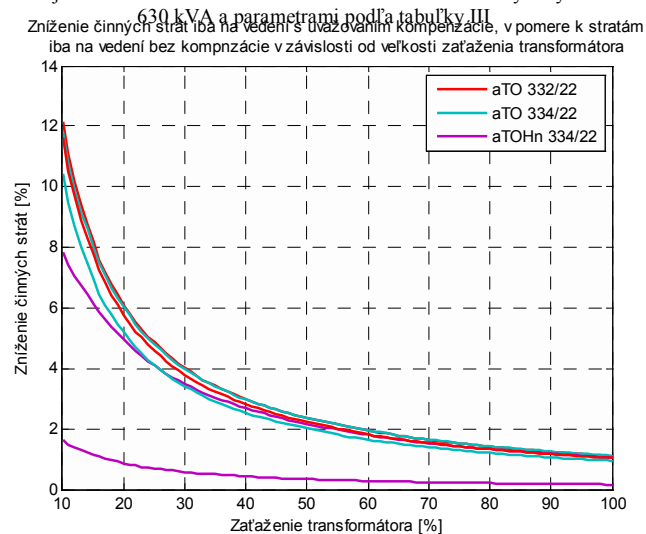
Obr. 3. Závislosť veľkosti činných strát iba na vedení v pomere k stratám v celej sieti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 250 kVA a parametrami podľa tabuľky I



Obr. 4. Závislosť veľkosti činných strát iba na vedení v pomere k stratám v celej sieti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 400 kVA a parametrami podľa tabuľky II

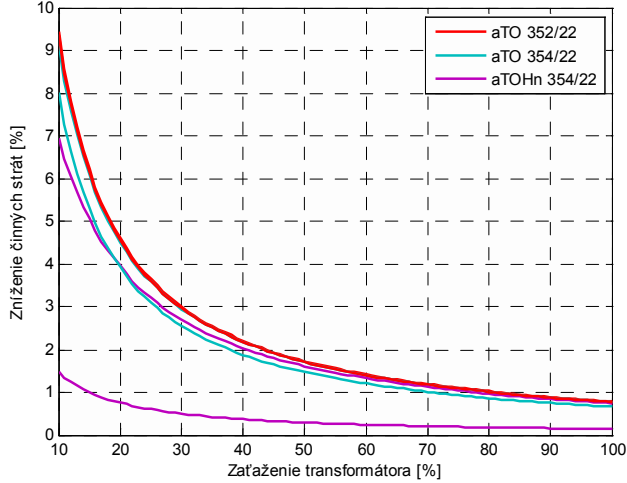


Obr. 5. Závislosť veľkosti činných strát iba na vedení v pomere k stratám v celej sieti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 630 kVA a parametrami podľa tabuľky III

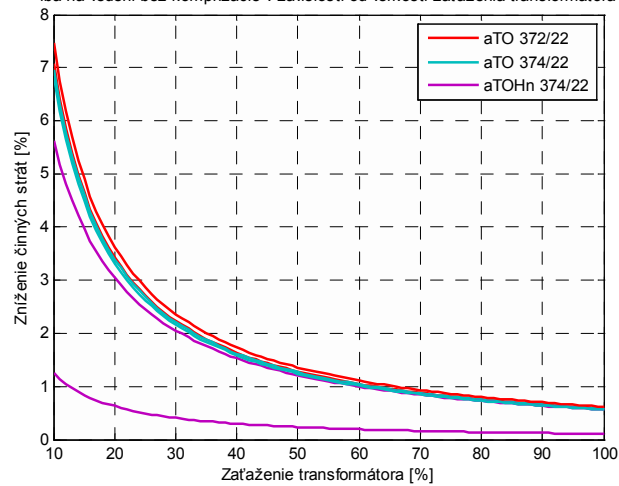


Obr. 6. Zníženie činných strát iba na vedení s uvažovaním kompenzácie v pomere k činným stratám iba na vedení bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 250 kVA

Zníženie činných strát iba na vedení s uvažovaním kompenzácie, v pomere k stratám iba na vedení bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátora



Obr. 7. Zníženie činných strát iba na vedení s uvažovaním kompenzácie v pomere k činným stratám iba na vedení bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 400 kVA



Obr. 8. Zníženie činných strát iba na vedení s uvažovaním kompenzácie v pomere k činným stratám iba na vedení bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 630 kVA

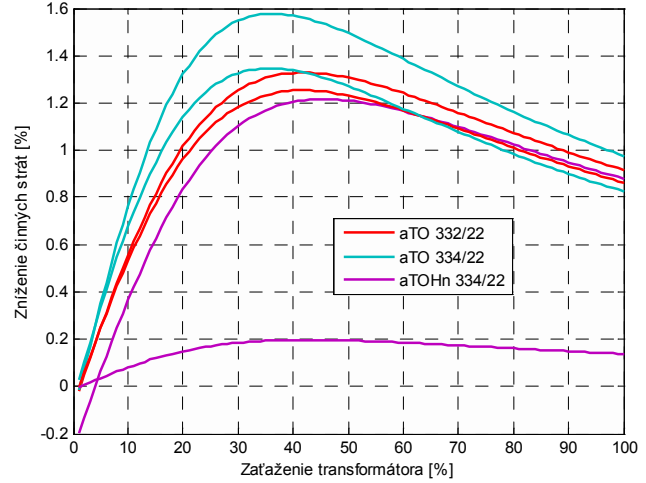
TABUĽKA IV

Metodika pridelenia výkonu kondenzátorov pre kompenzáciu prúdu naprázdno distribučných transformátorov zaužívané v praxi [7]

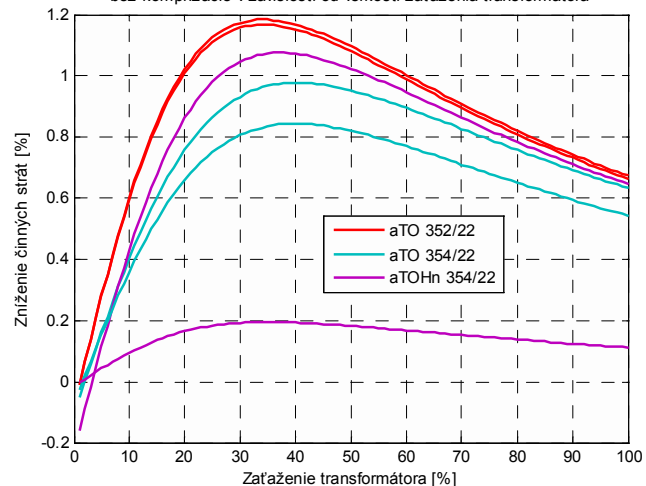
Menovitý výkon transformátora (kVA)	250	400	630
Menovitý výkon kondenzátora (kVAr)	5	6	8

Na Obr. 6 až Obr. 8 je zobrazené zníženie činných strát iba na vedení s uvažovaním kompenzácie v pomere k činným stratám iba na vedení bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátora, pričom sú uvedené výsledky pre transformátory vyrábané od roku 1966. Krivky zobrazené plnou čiarou predstavujú prípad s inštaláciou kondenzátora podľa tabuľky IV (v súčasnosti používaná metodika) a krivky zobrazené bodkovanou čiarou predstavujú prípad z inštaláciou kondenzátora s výkonom  $\Delta Q_0$  podľa tabuliek I až III. Z priebehov je vidieť väčšie zníženie strát v prípade inštalácie kondenzátorov podľa tabuľky IV, avšak tento efekt je zapríčinený najmä uvažovaním zaťaženia induktívneho charakteru. Zároveň je potrebné zdôrazniť, že inštalovaním kondenzátorov podľa tabuľky IV (v súčasnosti používaná metodika) dochádza ku kompenzácii nie len jalovej zložky prúdu naprázdno DTS ale

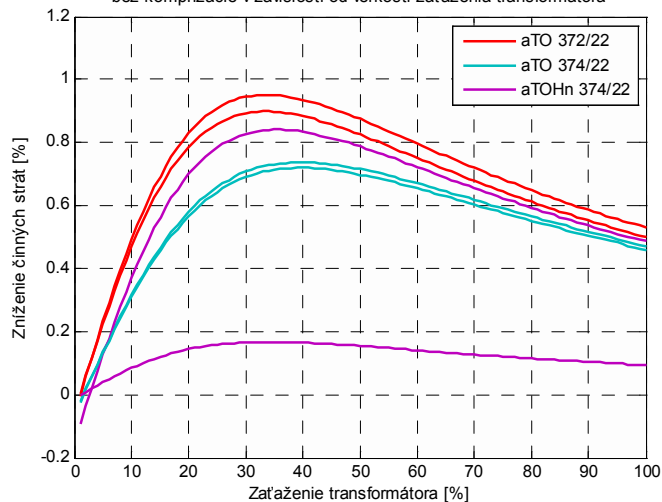
Zníženie celkových činných strát v sieti s uvažovaním kompenzácie, v pomere k stratám bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátora



Obr. 9. Zníženie celkových činných strát s uvažovaním kompenzácie v pomere k celkovým činným stratám bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 250 kVA



Obr. 10. Zníženie celkových činných strát s uvažovaním kompenzácie v pomere k celkovým činným stratám bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 400 kVA



Obr. 11. Zníženie celkových činných strát s uvažovaním kompenzácie v pomere k celkovým činným stratám bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátorov s menovitým výkonom 630 kVA

častočne aj záťaže. Tento fakt sa však nemusí prejavovať len dodatočným znížením činných strát, nakoľko už v súčasnosti dochádza najmä v nočných hodinách v mestských sieťach ku kapacitnému odberu z jednotlivých DTS. V takom prípade dochádza inštaláciou kondenzátorov naopak k zvýšeniu činných strát v distribučnej sieti

Na Obr. 9 až Obr. 11 je zobrazené zníženie celkových činných strát s uvažovaním kompenzácie v pomere k celkovým činným stratám bez kompenzácie v závislosti od veľkosti zaťaženia transformátora, pričom sú uvedené výsledky pre transformátory vyrábané od roku 1966. Aj v tomto prípade krivky zobrazené plnou čiarou predstavujú prípad z inštaláciou kondenzátora podľa tabuľky IV (v súčasnosti používaná metodika) a krivky zobrazené bodkovanou čiarou predstavujú prípad z inštaláciou kondenzátora s výkonom  $\Delta Q_0$  podľa tabuliek I až III. Z uvedených obrázkov je zrejmy vplyv parametrov jednotlivých transformátorov, výkonu kondenzátora určeného na kompenzáciu strát od prúdov naprázdno DTS a zaťaženia, na zníženie celkových činných strát v rámci uvažovaného modelu (Obr. 2). Samozrejme v prípade reálnej distribučnej siete sú v rámci jedného 22 kV vývodu napájané viaceré DTS, pričom vzdialenosti medzi jednotlivými DTS sú najmä v mestách sú rádovo desiatky až stovky metrov. V takýchto sieťach je podiel strát činného výkonu iba na vedeniach (časť strát, ktorú je možné inštaláciou kondenzátorov ovplyvniť) voči celkovým stratám činného výkonu omnoho menší, ako v prípade uvažovaného modelu. Posúdenie vhodnosti inštalácie kondenzátorov určených na kompenzáciu činných strát od prúdu naprázdno DTS je teda vhodné realizovať individuálne pre jednotlivé vývody či oblasti distribučnej sústavy.

#### IV. ZÁVER

Článok sa v stručnosti zaoberá problematikou potreby inštalácie kondenzátorov na účely kompenzácie činných strát od prúdu naprázdno distribučných transformátorov.

V súvislosti s termínom „kompenzácia činných strát od prúdu naprázdno transformátora“ je potrebné zdôrazniť, že inštaláciou kondenzátora na kompenzáciu jalovej zložky prúdu naprázdno transformátora nedôjde k zníženiu celkových činných strát na transformátore (naopak, môže dôjsť k ich miernemu zvýšeniu v dôsledku zvýšenia napätia a teda aj prúdu naprázdno). Kompenzáciou jalovej zložky prúdu naprázdno dochádza k zníženiu celkového prúdu tečúceho napájacím vedením, teda k zníženiu činných strát na vedeniach (za predpokladu indukčného charakteru odberu z DTS).

V tabuľkách I až III je uvedený vývoj elektrických parametrov DTS vyrábaných spoločnosťou BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. s uvedením skutočnej spotreby jalového výkonu v stave naprázdno ( $\Delta Q_0$ ). V tabuľke IV sú uvedené výkony kondenzátorov v súčasnosti

pridelované k jednotlivým transformátorom. Výkony týchto kondenzátorov zodpovedajú spotrebe jalového výkonu transformátorov naprázdno vyrobených v druhej polovici 60. rokov minulého storočia. V prípade uvažovania reálneho zaťaženia (indukčného charakteru) v súčasnosti vyrábaných DTS dôjde inštaláciou kondenzátorov podľa tabuľky IV k väčšiemu zníženiu celkových činných strát v distribučnej sústave oproti inštalácii kondenzátorov v súlade s tabuľkami I až III, avšak v takom prípade už nie je možné hovoriť len o kompenzáci činných strát od prúdu naprázdno transformátora, ale aj o čiastočnej kompenzáci účinníka záťaže jednotlivých DTS. Inštalácia kondenzátorov podľa tabuľky 5, však pri súčasnom trende inštalácie prevažne káblových vedení a zároveň pri nízkom zaťažení môže najmä v nočných hodinách spôsobovať nepriaznivé zvyšovanie kapacitných prúdov a tým aj činných strát v distribučnej sústave. Z toho dôvodu je vhodné pri zvažovaní potreby inštalácie kondenzátorov na kompenzáciu činných strát od prúdu naprázdno DTS realizovať analýzu zaťaženia a konfigurácie 22 kV siete napájajúcej jednotlivé DTS ako aj ekonomickú návratnosť takejto investície.

#### POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol vďaka pomoci pracovníkov spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s., ktorí ochotne poskytli všetky potrebné údaje a podklady týkajúce sa histórie a súčasnosti distribučných transformátorov..

#### LITERATÚRA

- [1] J. Vladař, J. Zelenka, „Elektrotechnika a silnoproudá elektronika“, *STNL, Praha*, 1986, 04-545-86.
- [2] L. Hruškovič, „Elektrické stroje“, *Slovenská technická univerzita v Bratislave*, 1999, ISBN 80-227-1249-3
- [3] G. N. Petrov, „Elektrické stroje 1“, *Academia Praha*, 1980, 21-045-80
- [4] E. Jezierski, „Transformátory“, *Academia Praha*, 1973
- [5] M. Kolcun, a kol., „Analýza elektrizačnej sústavy“, *Technická univerzita Košice*, 2005, ISBN 80-89057-09-8,
- [6] J. Lukáč, „Počiatky a rozvoj výroby silových transformátorov elektrickej energie na Slovensku“, Zborník prednášok z odbornej konferencie: História – súčasnosť – budúcnosť energetiky, 2.-3. september 1999, *elfa, s.r.o.*, Košice, 1999, str.51-63, ISBN 80-88964-16-4
- [7] V. Korenc, J. Holoubek, „Kompenzace jalového výkonu v praxi“, *IN-EL Praha*, 1999, ISBN 80-86230-07-4

#### ADRESA AUTORA

Ing. Martin Kanálik, PhD., Technická Univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, 040 01 Košice, Slovenská Republika, [Martin.Kanalik@tuke.sk](mailto:Martin.Kanalik@tuke.sk)