

JÓZEF TOMASZEWSKI, ERAZM GŁOWNIAK, TADEUSZ LIPIŃSKI

Katedra Urządzeń Elektrycznych
Elektroprojekt - Gliwice

WYBRANE ZAGADNIENIA ZASILANIA DUŻYCH ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W pracy omówiono najciekawsze problemy projektowania układów zasilających wielkie zakłady przemysłowe o dużej chłonności energii elektrycznej, naświetlono krytycznie dotychczasowe metody obliczeniowe oraz przedstawiono dyskusyjnie własne poglądy na te zagadnienia.

1. Wstęp

Koszty urządzeń elektrycznych stanowią 6 - 14% kosztów budowy całego zakładu przemysłowego. Górna wartość krańcowa występuje bardzo rzadko i spotykana jest w zakładach elektrometalurgicznych. Przeważnie udział inwestycji elektrycznych stanowi 7 - 8% całości kosztów. Mimo tak małego udziału bezwzględna wielkość tych kosztów może stanowić kilkadziesiąt do kilkuset milionów złotych. W związku z tym w okresie projektowania należy poświęcić dużo uwagi na zagadnienia elektroenergetyki, gdyż mają one duży wpływ na prawidłową eksploatację.

W urządzeniach elektrycznych dużych zakładów przemysłowych można wydzielić dwie części:

układ zasilający, który obejmuje powiązanie z siecią i doprowadzenie energii do punktów zasilających poszczególne obiekty, oraz jako druga część

instalacja obejmująca zespół urządzeń doprowadzających energię do odbiorników. Podział ten nie zawsze jest wyraźny i ulega zatarciu w wypadkach występowania wielkich odbiorników (np. elektrolizy), jednak przy projektowaniu należy na podział ten zwracać uwagę, gdyż instalacje odbiorników ulegają

częstszym zmianom niż sam układ zasilający. Można powiedzieć, że jeśli zakład traktuje się jako organizm to i układ zasilający należy uważać za całość, która musi być dopasowana do rozmiarów i specyfiki zakładu tak w chwili obecnej jak i w przyszłości.

Instalacje dostosowane są do specyfiki procesu produkcyjnego któremu służą, mogą być dość łatwo dostosowywane do zmieniających z czasem potrzeb, natomiast nie przewidywane zmiany w układzie zasilającym są kłopotliwe i kosztowne.

W obecnym stanie techniki, przy dosyć szybko zmienianej technologii i wzroście produkcji należy główną uwagę zwrócić na rozwiązanie układu zasilającego, który musi uwzględniać zagrożenia przyszłego rozwoju. Jest to jedną z przyczyn powodujących, że układu zasilającego nie można ujmować statycznie i traktować jako coś zamkniętego. Dowodem na to mogą być trudności napotykane przy rozbudowie czy zmianie profilu produkcyjnego w starych zakładach. Mniemanie to potwierdzają również liczne przykłady z obecnej praktyki, kiedy to wielokrotnie w rozdzielniach rejonowych dużych zakładów przemysłowych jeszcze przed pełnym uruchomieniem brakowało pól. Układy zasilające należy projektować z rozsądną oszczędnością, gdyż wszelkie "biurokratycznie" pojęte oszczędności doprowadzają w skutkach do niepotrzebnych dodatkowych wydatków.

2. Wybór układu zasilającego

Przy rozważaniu układów zasilających oprócz kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych duży wpływ wywierają tzw. czynniki "niewymierne", które czasem mogą mieć decydujący wpływ na wybór wariantu. Roli ich jednak nie należy tak wyolbrzymiać by zarzucać rachunek ekonomiczny. Przytoczony przykład potwierdza podaną tezę.

Przedmiotem zasilania ma być zakład elektrometalurgiczny składający się z dwóch jednakowych ciągów elektrolizy. Moc pobierana każdego ciągu w warunkach normalnych ma wynosić: $P_s = 94,1$ MW; $S = 103,3$ MVA; $T_s = 8350$ h. Po intensyfikacji wielkości te mają się kształtować następująco: $P_s = 109,6$ MW; $S = 120,5$ MVA; $T_s = 8360$ h. Zakład ma być zasilany z elektrowni odległej o 1,5 km w której ustawiane mają być dodatkowo 2 generatory po 125 MW o napięciu 13,8 kV, przeznaczone do zasilania zakładu.

Przy wyborze układu zasilania rozważano 9 wariantów i brano pod uwagę trzy napięcia 110 kV, 30 kV i 13,8 kV.

Oba obiekty, to znaczy elektrownia i zakład, mają być uruchamiane etapowo. Między etapami obiektów zachodzą jednak przesunięcia w czasie. Pierwszy generator ma być uruchamiany o półtora roku wcześniej od pierwszego ciągu elektrolizy. Drugi generator o trzy lata wcześniej od drugiego ciągu elektrolizy.

Projektowany zakład wymaga dużej pewności zasilania a dopuszczalne przerwy w dopływie energii nie mogą być dłuższe niż pół godziny. Przerwy te powodują szereg zaburzeń w procesie technologicznym a skutki ich powodujące straty materialne są długo odczuwane.

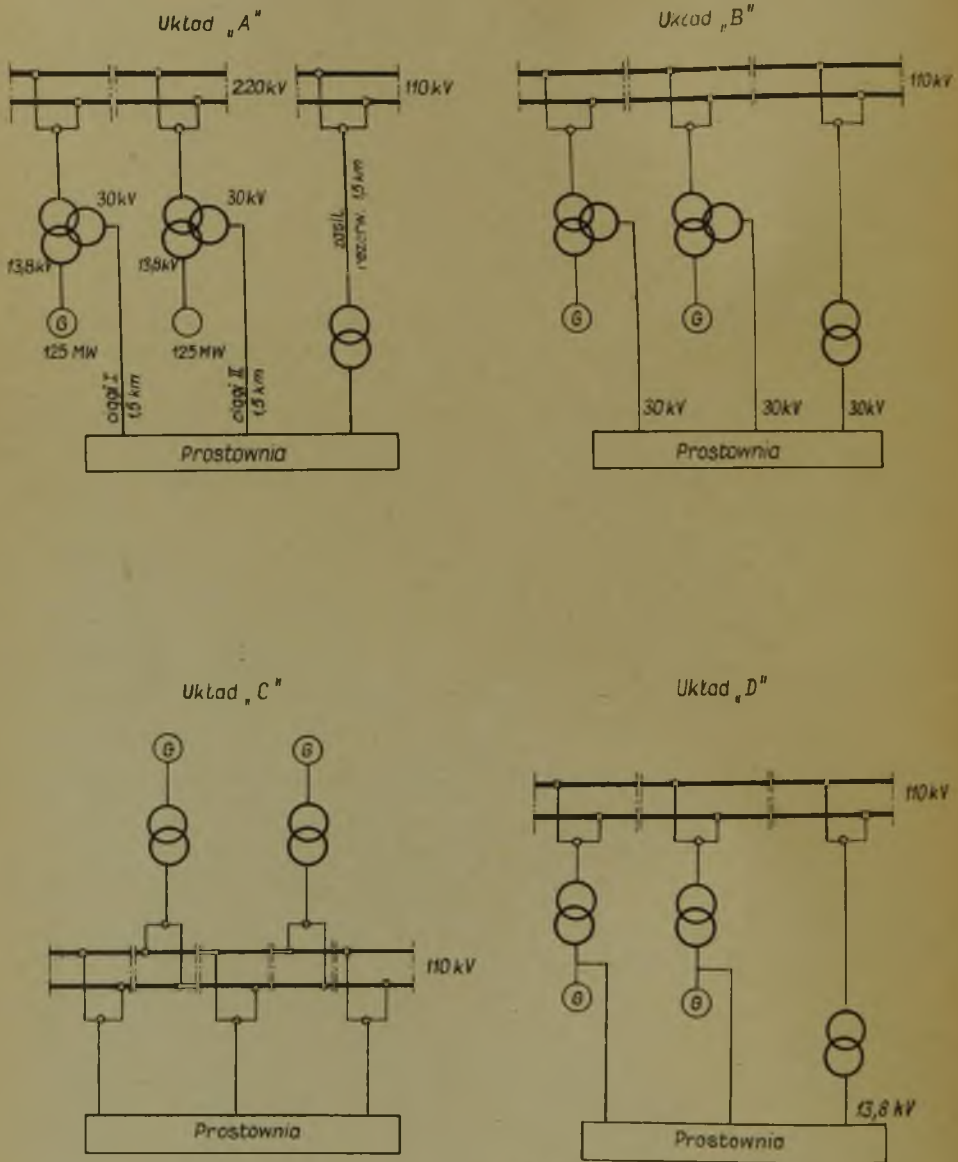
Przy wyborze wariantu zasilania uwzględniono, że aparatura prostowni na 110 kV jest droższa o 7% od aparatury na 30 i 13,8 kV.

Na rysunku 1 przedstawiono uproszczone schematy układów zasilania.

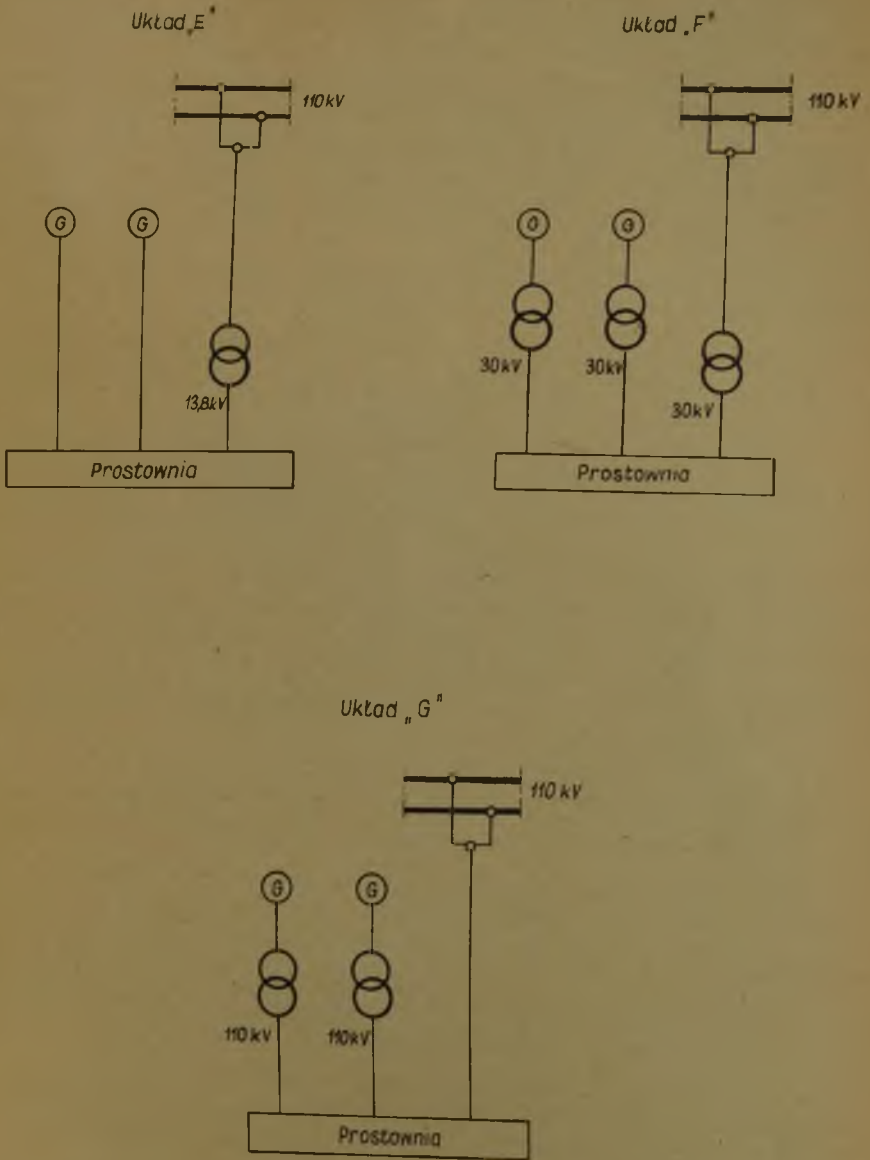
Po przeprowadzeniu analizy ekonomicznej wariantów otrzymano wyniki zestawione w tabelicy I.

Tabelica I

Lp.	Układ zasilania	Koszty inwestycyjne x 10^6 zł	Straty mocy w kW	Koszty roczne x 10^6 zł
1	Układ A - linie napowietrzne 30 kV	85,8	2315,0	33,3
2	Układ A - przewody szynowe 30 kV	80,6	2420,0	32,3
3	Układ B	71,3	1920,0	27,7
4	Układ C	59,3	1957,0	24,1
5	Układ D	81,5	1890,0	31,0
6	Układ E	48,7	2924,0	23,1
7	Układ F - linie 30 kV napowietrzne	59,8	2584,0	25,6
8	Układ F - przewody szynowe 30 kV	54,8	2734,0	24,4
		62,0	1902,0	27,1



Rys. 1



Rys. 1

W danych tych uwzględniono pola i transformatory w elektrowni, linie zasilające, rozdzielnię prądu zmiennego prostowni oraz różnice kosztów aparatury prostowni przy zasilaniu napięciem 110 kV.

Z przedstawionych danych widać, że najniższe koszty roczne i inwestycyjne ma układ E w którym prostownia zasilana jest bezpośrednio z generatorów napięciem 13,8 kV przewodami szynowymi. Połączenie z siecią 110 kV przez transformator służy jako zasilanie rezerwowe oraz do odprowadzenia nadwyżek mocy generatorów.

Wariant E mimo najniższych kosztów posiada szereg wad na które należy zwrócić uwagę. Są to:

- a) duże straty mocy (o 1 MW większe od najmniejszych),
- b) konieczność przesyłania do sieci nadwyżek mocy generatorów przez rozdzielnię prostowni,
- c) uzależnienie pracy generatorów od pracy elektrolizy,
- d) w okresach remontów generatora brak rezerwy w zasilaniu (przy wartości dobowej produkcji elektrolizy około 6.000.000 zł),
- e) ze względu na wcześniejsze uruchomienie generatorów powstaje konieczność prowizorycznej pracy generatorów na rozdzielnię elektrowni (kosztów tego połączenia nie uwzględniono w analizie),
- f) na szynach 13,8 kV prostowni wystąpią bardzo duże prądy zwarciove,
- g) znaczne trudności z uzyskaniem aparatury na bardzo duże prądy, występujące przy tym napięciu,
- h) utrudnienie w sterowaniu i synchronizacji generatorów.

Wariantem mającym następne w kolejności koszty roczne jest wariant C. W układzie tym generatory pracują przez transformatory blokowe na szyny rozdzielni 110 kV. Prostownia zasilana jest 3 liniami 110 kV. Koszty roczne obu wariantów, są bardzo bliskie i gdyby w analizie uwzględniano koszty połączeń prowizorycznych koniecznych dla wariantu E, wówczas wariant C wysunąłby się na pierwsze miejsce, tym bardziej, że nie ma on wad wariantu E. Po uwzględnieniu wyników analizy i wszystkich pozostałych czynników należy wybrać zasilanie wg wariantu C.

Przykład ten obrazuje z jednej strony przydatność analizy ekonomicznej z drugiej strony konieczność rozważenia całego szeregu dodatkowych czynników, które uwzględnione wspólnie mogą zapewnić prawidłowość wyboru.

Przy rozpatrywaniu podanego przykładu może nasunąć się pytanie czy rzeczywiście czynniki nie uwzględnione w analizie ekonomicznej są napewno "niewymierne".

Można stwierdzić, że niektóre z nich należy nazwać raczej "pozornie niewymiernymi" jak np. niesprecyzowane poglądy na pewność pracy urządzeń elektroenergetycznych. Można mieć nadzieję, że prowadzone przez szereg instytucji naukowych prace nad ekonomicznymi skutkami przerw w dostawie energii elektrycznej pozwolą w przyszłości na przeprowadzenie porównań zawodności układów zasilania odbiorców.

Pracę układu zasilającego można scharakteryzować przy pomocy współczynnika awaryjności.

$$q = \frac{T_a}{T_r + T_a} = \frac{T_a}{T_p}$$

- q - współczynnik awaryjności
- T_a - czas trwania przerw
- T_r - rzeczywisty czas trwania pracy
- T_p - planowany czas pracy

Wielkość współczynnika awaryjności q można określić na podstawie statystyki dla podobnych układów lub też na drodze matematycznej.

Ilość niedostarczonej energii można określić z pewnym przybliżeniem jako

$$A_a \approx qA$$

A - planowana ilość energii

Straty wynikające z przerw w dostawie energii można odnieść do jej wartości

$$K_a = A_a \cdot k \cdot n = q \cdot A \cdot k \cdot n$$

k - średni koszt jednostkowy energii (zł/kWh)

n - współczynnik liczbowy charakterystyczny dla odbiorcy.

Już dziś dla niektórych odbiorców obliczenia takie są wykonywane. W miarę postępu badań nad tym zagadnieniem uzyskane wyniki pozwolą na wprowadzenie tego rodzaju obliczeń do wykonywanych analiz.

3. Dobór napięć rozdzielczych

W miejskich sieciach elektroenergetycznych występuje obecnie tendencja podwyższania napięcia rozdzielczego i zastępowania sieci trójnapięciowych dwunapięciowymi np. zamiast układu 110/30/6 układ 110/15 lub 110/10 kV. W sieciach miejskich uzależnione to jest w dużej mierze od gęstości powierzchniowej obciążeń. W sieciach przemysłowych gęstości te są bardzo duże np. dla zakładów, które będą podstawą rozważań wynoszą one:

dla zakładu A około 230 MW/km^2
 dla zakładu B około 150 MW/km^2

Oba zakłady mają bardzo zbliżony charakter produkcyjny z tym, że zakład A jest stary i silnie rozbudowywany natomiast zakład B jest ~~nowo~~ projektowany.

Oba zakłady mają własne elektrociepłownie jednak ich zdolności produkcyjne są niewystarczające i niedobory mocy wynoszą dla zakładu A około 125 MW, dla zakładu B około 150 MW. W zakładzie A są dwie elektrociepłownie, - EC I stara leżąca prawie w centrum obciążeń obecnej części zakładu i EC II nowa, odległa o około 700 m od starej, leżąca na krańcu zakładu.

Obecna rozbudowa zakładu skoncentrowana jest na wschód od obu elektrociepłowni.

Projektując układy zasilające obu zakładów rozważono szereg wariantów. Spośród nich godne uwagi są 2 warianty dla zakładu A oraz 4 dla zakładu B.

Zakład A

Wariant 2 a. Sieć rozdzielcza 6 kV zasilana z ECI, ECII i rozdzielni głównej RG1. Rozdzielnie obu elektrociepłowni mają powiązanie z siecią 110 kV, RG1 przeznaczona dla nowej części zakładu zasilana jest z sieci 110 kV.

Wariant 4. Sieć mieszana 30 i 6 kV. Część odbiorów zasilana bezpośrednio z ECI, ECII i RG1 napięciem 6 kV oraz część zasilana z ECII i RG1 napięciem 30 kV.

W ECII przewidziano transformatory trójzwojzeniowe 110/30/6 kV natomiast w RG1 osobne transformatory 110/6 kV i 110/30 kV. Największe odbiory zakładu mają powiązanie z punktami zasilania liniami 30 kV.

Wyniki przeprowadzonej analizy dla zakładu A przedstawione są w tablicy II.

Tablica II

Wariant	Koszty inwest. x 10 ⁶ zł	Straty mocy w kW	Koszty roczne x 10 ⁶ zł
2 a	84,57	1393	15,88
4	85,10	1735	16,96

Zakład B

Ciekawsze warianty przedstawione są na rys.2.

Wyniki przeprowadzonej analizy zakładu B przedstawione są w tablicy III.

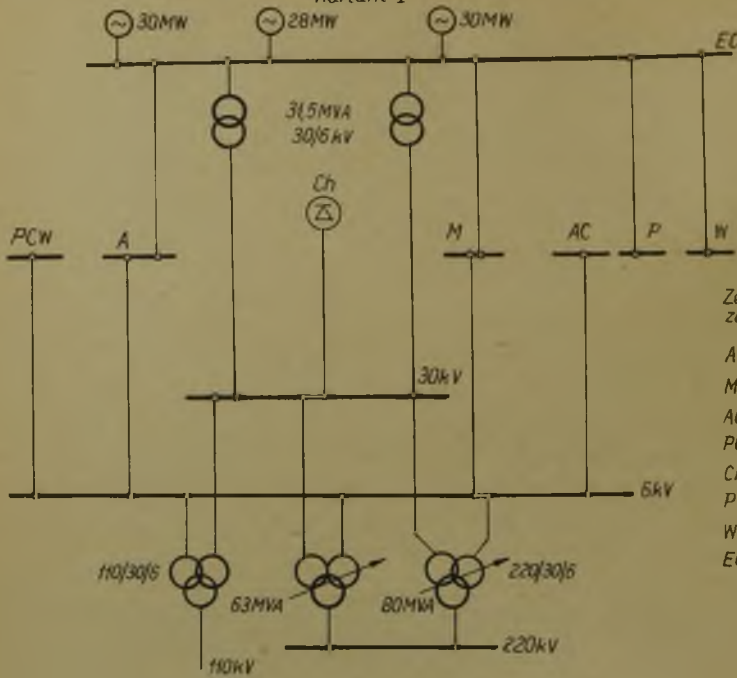
Tablica III

Wariant	Koszty inwest. x 10 ⁶ zł	Straty w kW	Koszty roczne x 10 ⁶ zł
I	139,75	1957	25,26
II	128,10	1882	23,41
IV	132,15	2120	24,67
V	144,10	1830	25,50

Z przedstawionych wyników widać, że dla zakładu A najlepszy jest wariant 2 a z siecią rozdzielczą 6 kV. Dla nowo projektowanej części zastosowano typowy układ dwunapięciowy. Dla zakładu B najlepszym wariantem jest wariant II. Jest to wariant mieszany, dla odbiorów zasilanych z elektrociepłowni zastosowano napięcie 6 kV, natomiast dla odbiorów zasilanych z sieci układ trójnapięciowy 220/30/6 kV. Jakże przyczyny zdecydowały o tym i o ile wyniki są zgodne z wspomnianymi na początku tendencjami.

W zakładzie A występują większe gęstości powierzchniowe obciążeń a oprócz tego na terenie zakładu zlokalizowano, dzięki etapowej rozbudowie 3 punkty zasilające, które równocześnie są głębokimi wprowadzeniami najwyższych napięć. Spowodowało to skrócenie sieci 6 kV i z tej przyczyny pośrednie napięcie okazało się zbędne.

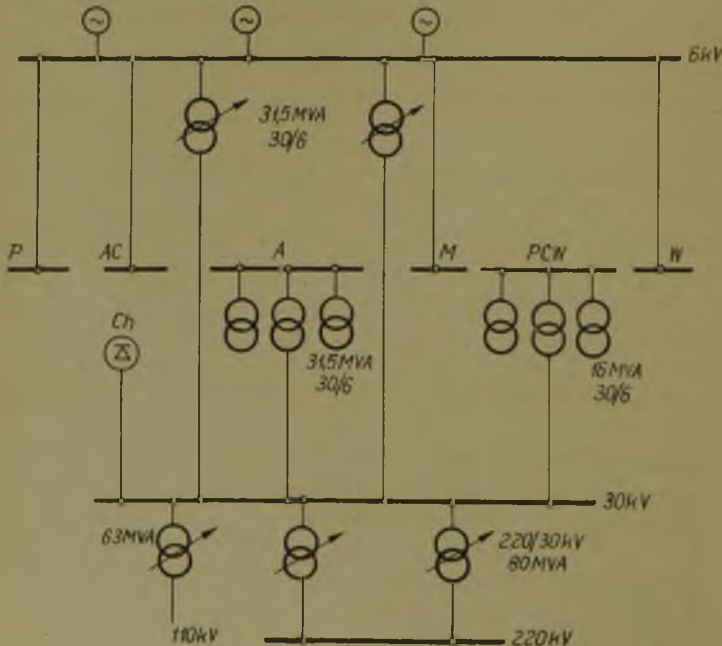
Wariant I



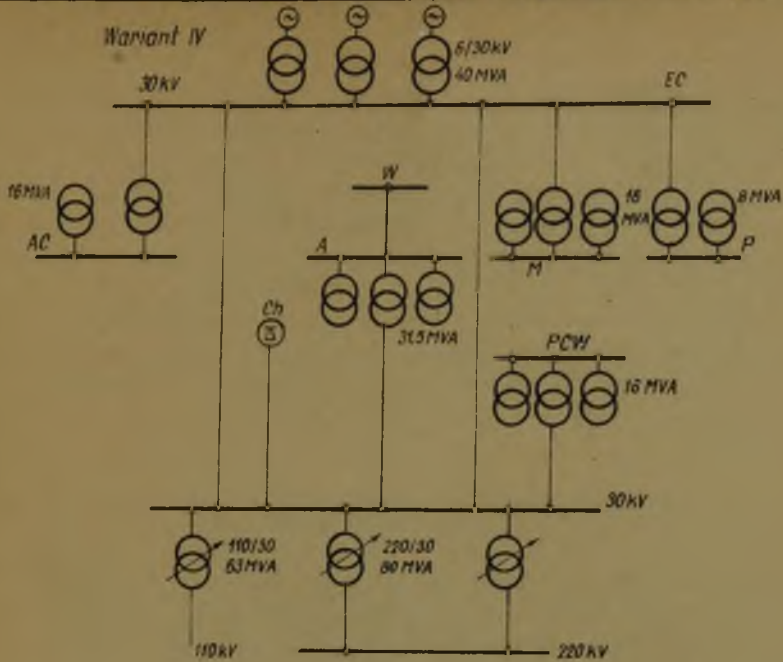
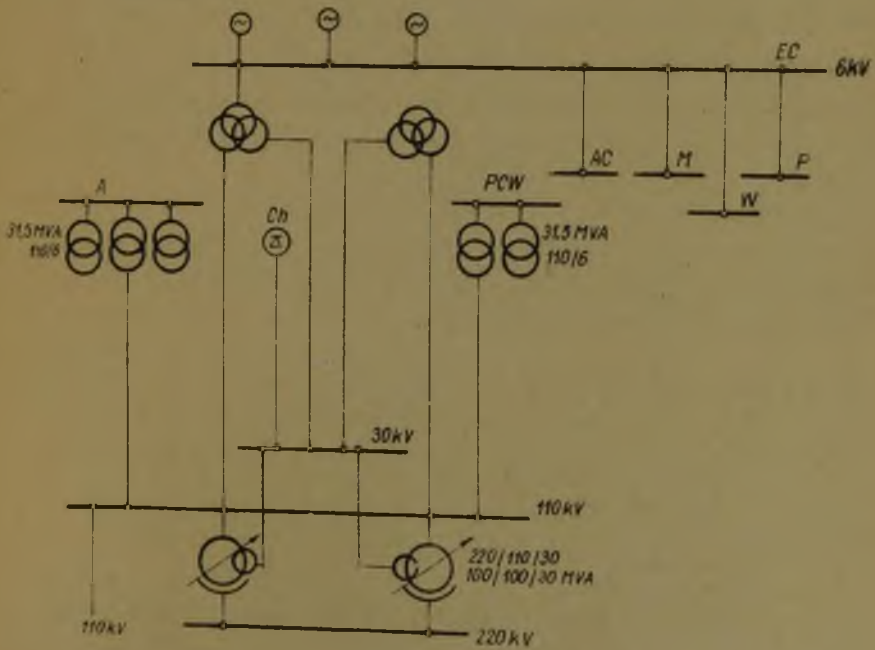
Zestawienie mocy
zapotrzebowanej

- A - 53,1 MW
- M - 24,1 MW
- AC - 13,5 MW
- PCW - 19,9 MW
- Ch - 47,3 MW
- P - 6,3 MW
- W - 5,0 MW
- EC - 21,6 MW
- 189,8 MW

Wariant II



Rys. 2.

*Wariant V*

Rys. 2

Zakład B ma mniejsze gęstości powierzchniowe obciążeń, punkty zasilające nie mają charakteru głębokich wprowadzeń najwyższych napięć. Niektóre odbiory o dużym poborze mocy są stosunkowo odległe od punktów zasilania i dlatego stosowanie pośredniego napięcia jest uzasadnione. Podwyższenie napięcia odbiorów wysokonapięciowych do 15 kV a może nawet tylko do 10 kV dałoby prawdopodobnie układ podobny do zakładu A czyli też dwunapięciowy. Jest to zagadnienie istotne i godne zwrócenia uwagi przemysłu maszynowego, gdyż odbiornikami wysokonapięciowymi są wielkie silniki synchroniczne o mocach rzędu 4,5 MW.

4. Dobór transformatorów

Przy doborze transformatorów wielokrotnie popełniane są błędy wskutek nadmiernych uproszczeń. Najczęściej popełnionym uproszczeniem jest dobranie mocy transformatora tak, by obciążenie mocą obliczeniową stanowiło około 75% mocy znamionowej. Ma to być wg szeregu projektantów i autorów środkiem zapewniającym najniższe koszty eksploatacyjne. Przytoczone przykłady wykażą, że podane rozumowanie jest niesłuszne. Obliczenia wykonano przy założeniu, że koszty kalkulowane obejmujące; odpisy amortyzacyjne, na remonty oraz akumulacyjne wynoszą 15%. Dla uproszczenia przyjęto, że koszty komór transformatorowych i wyposażenia są te same dla sąsiednich co do wielkości jednostek oraz że koszty personelu eksploatacyjnego są jednakowe. Przy obliczaniu kosztów eksploatacji założono, że opłaty za zamówioną moc pozorną w wysokości 10 zł/kVA nie ulegają zmianie przy wymianie jednostek transformatorowych. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy IV.

Tablica IV

Dane obciążenia	Jednostka w kVA	Roczne koszty eksploatacji w zł
$S = 800 \text{ kVA}; \cos \varphi = 0,8$ $T_s = 8000 \text{ h}; T_r = 8760 \text{ h}$	<u>800</u> 1000	<u>100.890</u> 102.245
$S = 800 \text{ kVA}; \cos \varphi = 0,95$ $T_s = 8000 \text{ h}; T_r = 8760 \text{ h}$	<u>800</u> 1000	<u>45.650</u> 42.670

cd. Tablica IV

Dane obciążenia	Jednostka w kVA	Roczne koszty eksploatacji w zł
$S = 800 \text{ kVA}; \cos \varphi = 0,8$	800	65.846
$T_s = 3000 \text{ h}; T_r = 8760 \text{ h}$	1000	74.974
$S = 800 \text{ kVA}; \cos \varphi = 0,95$	800	25.595
$T_s = 3000 \text{ h}; T_r = 8760 \text{ h}$	1000	27.595

Z przytoczonych wyników widać, że poważny wpływ na koszty eksploatacyjne wywiera czas użytkowania mocy szczytowej oraz współczynnik mocy.

Jest to dowodem że dla uzyskania najwłaściwszych wyników przy doborze jednostek transformatorowych należy przeprowadzić każdorazowo analizę kosztów eksploatacji. Należy przy tym zwrócić uwagę, że o doborze jednostki transformatorowej nie mogą decydować jedynie koszty eksploatacji, gdyż w pierwszym rzędzie decydujące są względy techniczne jak np. warunki samorzuchu silników przy SZR itp.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ БОЛЬШИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Содержание

Работа рассматривает самые интересные проблемы снабжения больших заводов, нуждающихся в больших мощностях. Дан критический обзор современных методов расчета и представлены собственные взгляды авторов по этим дискуссионным вопросам.

QUELQUES PROBLÈMES D'ALIMENTATION DES GRANDS ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

Resumé

Le travail concerne les plus intéressants problèmes des dispositifs d'alimentations des grands établissements industriels exigeants des grandes puissances électriques. Il analyse les méthodes actuelles de calcul pour les projets et donne ses propres aperçus des problèmes.