

„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2012/2013
Rozwiązania zadań dla grupy elektrycznej na zawody III stopnia

Zadanie 1

Silnik indukcyjny klatkowy ma następujące dane znamionowe:

$P_N = 22 \text{ kW}$ – moc znamionowa,

$n_N = 1465 \text{ obr/min}$ – znamionowa prędkość obrotowa,

$\eta_N = 91\%$ – sprawność znamionowa,

$\cos\varphi_N = 0,90$ – znamionowy współczynnik mocy,

$U_N = 400 \text{ V}$ Δ – napięcie znamionowe,

$I_N = 38,8 \text{ A}$ Δ – prąd znamionowy,

$\lambda_N = M_{\max}/M_N = 2,8$ – wartość względna momentu maksymalnego, przeciążalność.

$f_N = 50 \text{ Hz}$ – częstotliwość znamionowa.

Silnik zasilono z przetwornicy częstotliwości napięciem o znamionowej wartości i częstotliwości, a następnie obciążono stałym momentem oporowym, równym $M_{\text{op}} = 0,5M_N$. Potem zaczęto zwiększać częstotliwość napięcia stojana, utrzymując jego stałą wartość równą napięciu znamionowego silnika U_N . Prędkość obrotowa silnika rosła tylko do pewnej wartości częstotliwości, powyżej której prędkość obrotowa silnika zaczęła się zmniejszać aż do zera (moment obrotowy rozwijany przez silnik był wtedy mniejszy od momentu oporowego). Oblicz częstotliwość napięcia zasilania stojana oraz prędkość obrotową silnika, przy których rozpoczęło się zatrzymywanie silnika. W rozważaniach pominięto rezystancję uzwojenia stojana silnika. Przyjmij, że wirnik silnika może obracać z dowolną prędkością.

Rozwiązanie

Silnik rozpocznie się zatrzymywać w momencie, gdy bieżąca wartość momentu maksymalnego zmniejszy się do wartości momentu oporowego $M_{\text{mf}} = M_{\text{op}} = 0,5M_N$, jak to pokazano na rysunku R.1. (na skutek zwiększania częstotliwości napięcia zasilania przy stałej wartości napięcia).

Z danych znamionowych wynika, że silnik ma cztery bieguny $2p = 4$, a jego prędkość synchroniczna wynosi $n_0 = 1500 \text{ obr/min}$. Obliczamy kolejno:

- poślizg znamionowy

$$s_N = \frac{n_0 - n_N}{n_0} = \frac{1500 - 1465}{1500} = 0,02333,$$

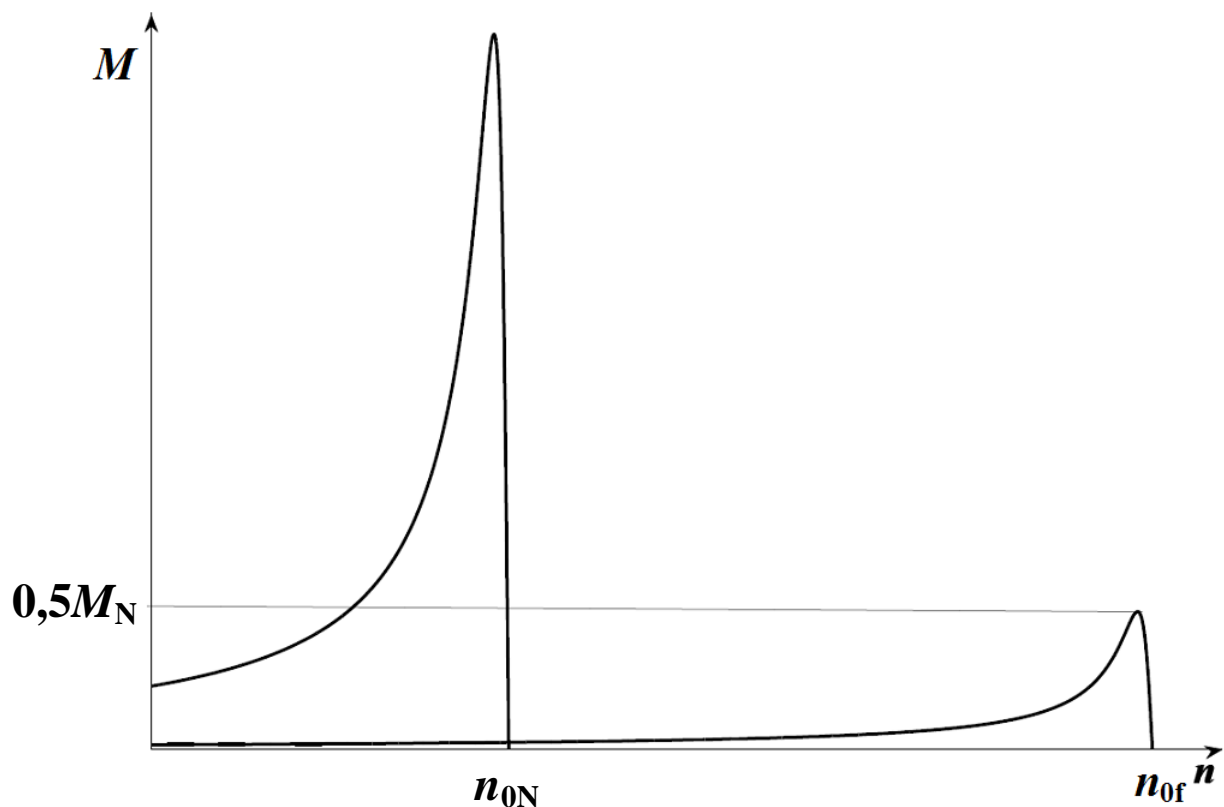
- poślizg krytyczny w znamionowych warunkach zasilania

$$s_{\text{kN}} = s_N \left(\lambda_N + \sqrt{\lambda_N^2 - 1} \right) = 0,1264,$$

gdzie λ_N – przeciążalność znamionowa silnika.

Nową wartość momentu krytycznego M_{mf} przy zmienionej wartości i częstotliwości napięcia stojana można wyznaczyć ze wzoru

$$M_{\text{mf}} = M_{\text{mN}} \left(\frac{U_f}{U_N} \right)^2 \left(\frac{f_N}{f_f} \right)^2.$$



Rys. R.1

W warunkach podanych w zadaniu zmianie ulega tylko częstotliwość napięcia. Zatem w momencie rozpoczęcia zatrzymywania się silnika spełnione jest równanie

$$M_{mf} = M_{op} = 0,5M_N = M_{mN} \left(\frac{f_N}{f_f} \right).$$

Stąd można wyznaczyć poszukiwaną wartość częstotliwości napięcia stojana

$$f_f = f_N \sqrt{\frac{M_{mn}}{M_{op}}} = 118,3 \text{ Hz}.$$

Na tej podstawie można obliczyć nową wartość prędkości synchronicznej

$$n_{0f} = \frac{60 f_f}{2} = 3550 \text{ obr/min},$$

nową wartość poślizgu krytycznego

$$s_{kf} = s_{kN} \left(\frac{f_N}{f_f} \right) = 0,5340,$$

a także wartość prędkości obrotowej, przy której silnik rozpocznie się zatrzymywać. Odpowiada ona nowej wartości poślizgu krytycznego

$$n = n_{0f} (1 - s_{kf}) \approx 3360 \text{ obr/min}.$$

Zadanie 2

Dany jest trójfazowy transformator energetyczny o następujących danych (rys. 1):

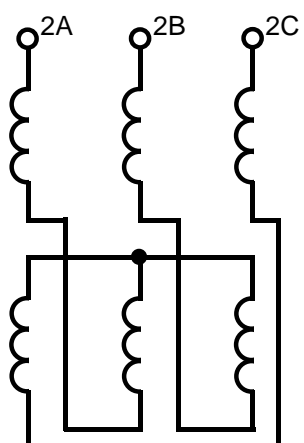
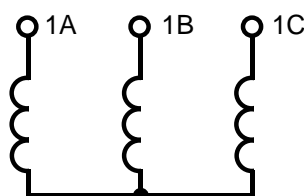
$S_N = 100 \text{ kVA}$ – moc znamionowa,

$U_{1N} = 6 \text{ kV}$ – napięcie znamionowe uzwojenia pierwotnego,

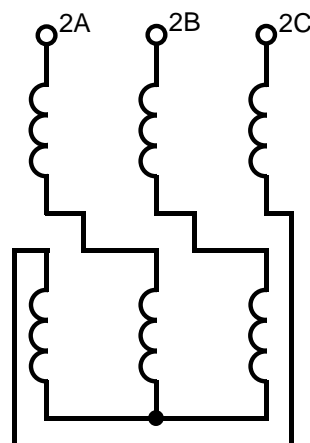
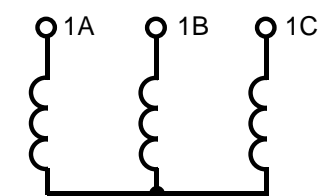
$U_{2N} = 400 \text{ V}$ – napięcie znamionowe uzwojenia wtórnego,

Yzn11 – układ połączeń.

W trakcie remontu transformatora pomyłono końcówki uzwojenia wtórnego, łącząc go tak, jak to pokazano na rys. 2. Wyznacz napięcie strony wtórnej oraz przesunięcie godzinowe tego transformatora przy założeniu, że uzwojenie pierwotne zasilane jest napięciem znamionowym. W rozważaniach pomijaj prąd stanu jałowego transformatora i problemy wytrzymałości elektrycznej izolacji jego uzwojeń. Którą ze swoich właściwości, korzystną przy niesymetrycznym obciążeniu transformatora, traci taki transformator z błędnie połączonymi uzwojeniami.



Rys. 1



Rys. 2

Rozwiązanie

Na podstawie wykresu wskazowego napięć transformatora przed remontem (rys. R.2) można określić:

- napięcie znamionowe uzwojenia wtórnego

$$U_{2N} = 400 \text{ V},$$

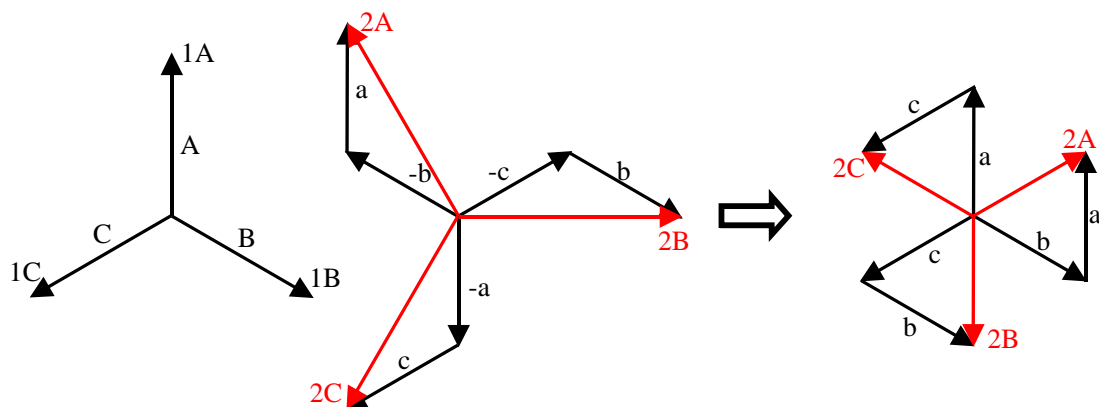
- znamionowe napięcie fazowe uzwojenia wtórnego

$$U_{2Nph} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V},$$

- napięcie znamionowe cewki fazowej uzwojenia wtórnego (połączonego w zygzak)

$$U'_{2Nph} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} U_{2Nph} = 133,4 \text{ V}.$$

Wykres wskazowy napięć uzwojenia wtórnego transformatora po remoncie, w którego trakcie pomyłono końcówki uzwojenia wtórnego, pokazano na rysunku R.2.



Rys. R.2

Ponieważ napięcie znamionowe cewki fazowej mimo błędnego połączenia nie ulegnie zmianie, to na tej podstawie można, korzystając z twierdzenia Carnota, wyznaczyć nową wartość napięcia fazowego uzwojenia wtórnego

$$U_{2ph}^* = \sqrt{U_{2Nph}^{'2} + U_{2Nph}^{'2} - 2U_{2Nph}' \cos 60^\circ} = 133,4 \text{ V},$$

a także nową wartość napięcia międzyprzewodowego, które będzie większe $\sqrt{3}$ razy większe

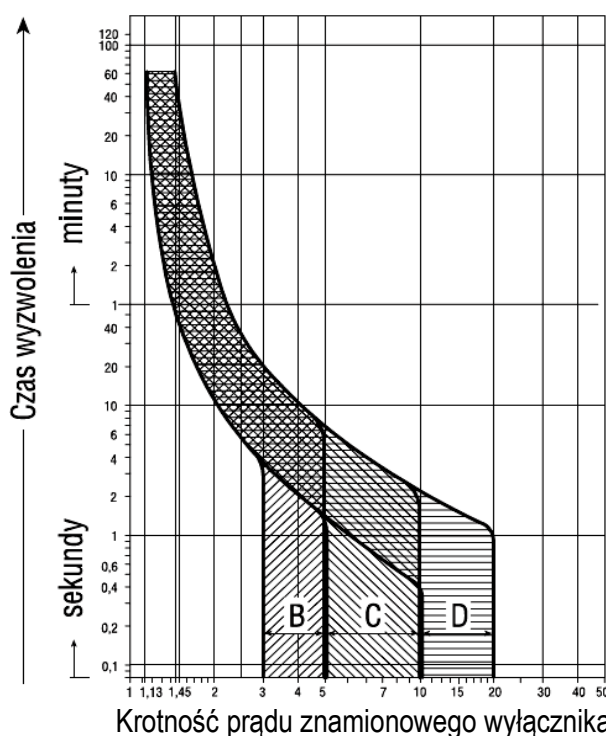
$$U_2^* = \sqrt{3}U_{2ph}^* = 231 \text{ V}.$$

Przesunięcie godzinowe można określić na bezpośrednio na podstawie wykresu wskazowego. Wynosi ono dwie godziny. Ponieważ składowe symetryczne kolejności zerowej prądu obciążenia na poszczególnych kolumnach dodają się, a nie odejmują, jak ma to miejsce w uzwojeniu poprawnie połączonym w zygzak, to nie wystąpi tu kompensacja przepływów kolejności zerowej bezpośrednio w uzwojeniu wtórnym transformatora, która była cechą uzwojenia połączonego w zygzak. Transformator taki zachowuje się jak transformator o połączeniu Yyn i nie nadaje się do obciążeń, w których występuje obciążenie punktu neutralnego uzwojenia wtórnego.

Zadanie 3

W budynku mieszkalnym instalacja elektryczna jest wykonana jako sieć TN-S zgodnie z obowiązującymi przepisami. Jako ochronę dodatkową przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim) zastosowano samoczynne wyłączenie zasilania. Z jednej z rozdzielnic piętrowych tego budynku poprowadzono obwód, zasilający gniazdko jednofazowe ze stykiem ochronnym. Obwód wykonano przewodem instalacyjnym YDYpżo $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$, zabezpieczając go nadprądowym wyłącznikiem instalacyjnym B16 A (rys. 3). Odległość między gniazdkiem a rozdzielnicą, wyrażona długością przewodu instalacyjnego wynosi 100 m. Rezystancja pętli zwarcia zmierzona na szynie PE rozdzielnic piętrowej wynosi $0,80 \Omega$. Czy zapewniona będzie skuteczna ochrona dodatkowa przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim) w przypadku zwarcia przewodu fazowego z przewodem ochronnym w samym gniazdku? Maksymalny dopuszczalny czas wyłączenia wynosi 0,40 s. Założyć, że rezystancja punktu zwarcia równa jest zero. Pominąć reaktancję przewodów i transformatora.

Przyjąć, że konduktywność jednej żyły zastosowanego przewodu wynosi $\gamma = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$.



Rys. 3. Charakterystyka czasowo-prądowa nadprądowego wyłącznika instalacyjnego

Rozwiązanie

W rozpatrywanym przypadku maksymalny czas wyłączenia zasilania, zapewniający skuteczność ochrony przy uszkodzeniu, wynosi 0,4 s. Wartość prądu zwarcia musi spełniać warunek

$$I_k \geq I_a,$$

w którym: I_k – prąd zwarcia,

I_a – prąd zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego wyłącznika instalacyjnego (w przypadku wyłącznika instalacyjnego o charakterystyce wyzwalania B tylko jego zadziałanie zapewnia wyłączenie wyłącznika w czasie krótszym od 0,4 s).

Prąd I_a powinien zatem spełniać warunek

$$I_a \geq 5I_N = 80 \text{ A},$$

w którym I_N to prąd znamionowy wyłącznika nadprądowego, czyli 16 A (prądy z zakresu $3I_N \leq I_k < 5I_N$ mogą, ale nie muszą spowodować zadziałania wyłącznika elektromagnetycznego). Zatem wartość maksymalna pętli zwarcia w gniazdku powinna spełnić warunek

$$R_{k\max} = \frac{U_0}{I_a} = \frac{231}{80} = 2,89 \, \Omega,$$

w którym U_0 to wartość znamionowa napięcia zasilania względem ziemi.

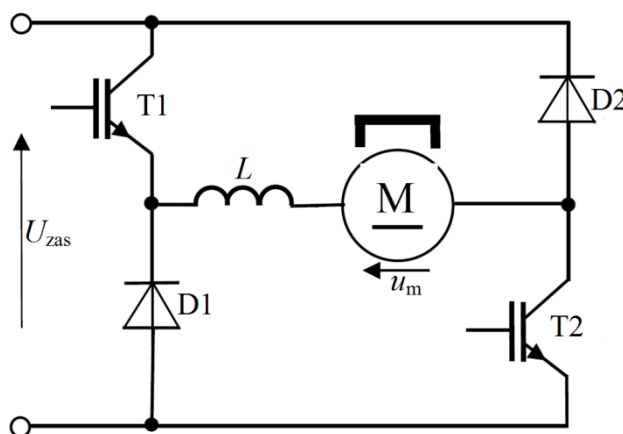
Ponieważ wartość rezystancji pętli zwarcia w rozdzielni piętrowej wynosi $R_{kr} = 0,80 \, \Omega$, a dodatkowa rezystancja pętli R_{kd} wprowadzona przez przewód zasilający gniazdko wynosi

$$R_{kd} = \frac{l}{\gamma S} = \frac{200}{57 \cdot 1,5} = 2,34 \, \Omega,$$

(jako długość l wzięto podwójną długość przewodu, obliczamy bowiem rezystancję pętli zwarcia), zatem całkowita wartość pętli zwarcia w gniazdku będzie sumą obu tych rezystancji i wyniesie $3,14 \, \Omega$. Jest to wartość większa od wartości maksymalnej, która wynosi $2,89 \, \Omega$. Zatem ochrona dodatkowa przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania nie będzie skuteczna.

Zadanie 4

Na rysunku 4 przedstawiono schemat przekształtnika impulsowego prądu stałego, zasilającego silnik prądu stałego, wzbudzany magnesami trwałymi. Silnik pracuje jako wciągarka, co oznacza, że obciążony jest momentem aktywnym (przy podnoszeniu ładunku – praca silnikowa w pierwszym kwadrancie charakterystyki mechanicznej lub opuszczaniu ładunku – praca hamulcowa w czwartym kwadrancie). Tranzystory T1 i T2 przekształtnika sterowane są współbieżnie, to znaczy są włączane i wyłączane w tych samych momentach. Oznacza to, że współczynniki wypełnienia impulsów obu sygnałów sterujących tranzystory T1 i T2 są sobie równe i wynoszą $d_1 = d_2 = d$. Przekształtnik zasilany jest z baterii akumulatorów o napięciu znamionowym $U_{zasN} = 100 \, \text{V}$. Należy przyjąć, że napięcie zasilania U_{zas} ma we wszystkich stanach pracy przekształtnika stałą wartość, równą wartości znamionowej. Za pomocą wciągarki opuszczany jest pewien ładunek, przy czym w ustalonym stanie pracy napędu wartość średnia napięcia na zaciskach silnika wyniosła $U_{mAV} = 50 \, \text{V}$. Wyznacz współczynnik wypełnienia impulsów d sygnałów sterujących tranzystory w tym stanie pracy. Przyjmij, że tranzystory, diody i dławik są elementami idealnymi, a indukcyjność dławika L i częstotliwość przełączania tranzystorów $f = 1/T$ są na tyle duże, że prąd silnika jest ciągły i idealnie wygładzony.



Rys. 4

Rozwiązanie

Na rysunku R.3. pokazano przebiegi sygnałów sterujących tranzystory S_{T1} i S_{T2} oraz przebieg napięcia na zaciskach silnika u_m . Współczynnik wypełnienia impulsów dla przebiegu pokazanego na rysunku dobrano tak, aby wartość średnia napięcia na zaciskach silnika U_{mAV} była ujemna, zapewniając pracę przekształtnika w czwartym kwadrancie.

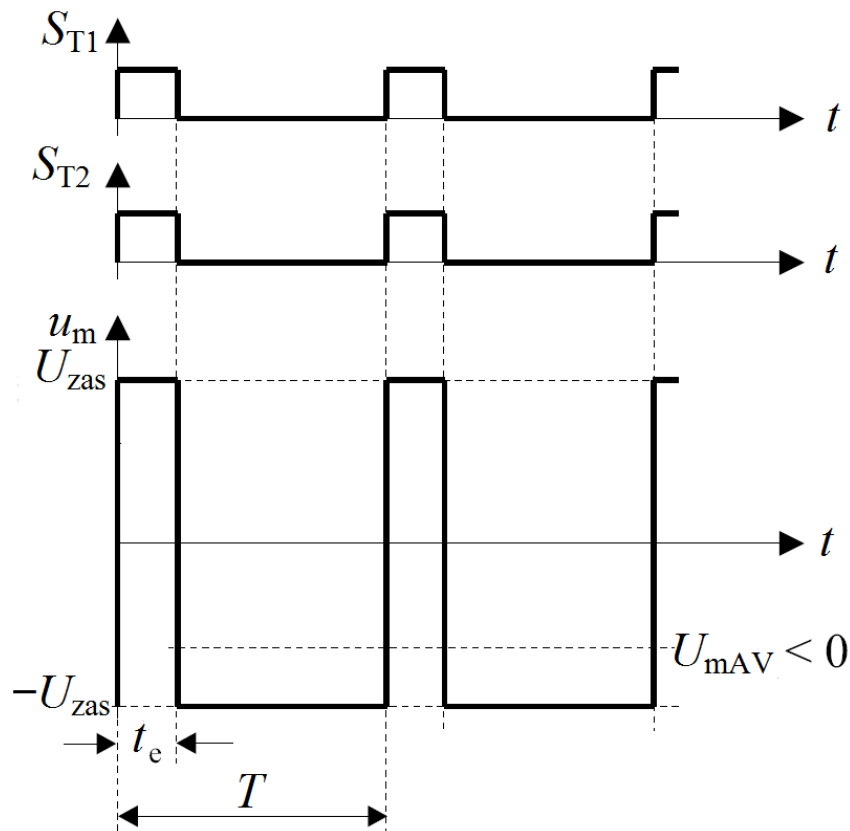
Jeżeli sygnały sterujące tranzystory S_{T1} i S_{T2} są dodatnie, przewodzą tranzystory T1 i T2, a wartość chwilowa napięcia na zaciskach silnika równa jest napięciu zasilania U_{zasN} . Jeżeli wartość sygnałów S_{T1} i S_{T2} zmniejszy się do zera, przestają przewodzić tranzystory T1 i T2, a zaczynają przewodzić diody D1 i D2. Wartość chwilowa napięcia na zaciskach

$$U_{zasN}.$$

Współczynnik wypełnienia impulsów jest równy

$$d = \frac{t_e}{T}.$$

Dla przebiegów pokazanych na rysunku poniżej $d < 0,5$.



Rys. R.3

Wartość średnia napięcia na zaciskach silnika wyniesie

$$U_{mAV} = \frac{\int_0^T u_m(t) dt}{T}.$$

W naszym przypadku przebiegi napięcia są prostokątne i całkowanie można zastąpić mnożeniem odpowiednich wielkości

$$U_{mAV} = \frac{U_{zasN} \cdot t_e - U_{zasN} \cdot (T - t_e)}{T} = U_{zasN} (2d - 1)$$

i na tej podstawie wyznaczyć d

$$d = \frac{U_{\text{mAV}} + U_{\text{zasN}}}{2U_{\text{zasN}}} = 0,25.$$

Opracował

dr inż. Mirosław Miszewski.
PESA Bydgoszcz

Sprawdził

dr inż. Sławomir Cieślik
UTP Bydgoszcz

Zatwierdził

Przewodniczący
Rady Naukowej Olimpiady
dr inż. Sławomir Cieślik