

**Kryteria oceny możliwości przyłączania
mikroinstalacji i małych instalacji przyłączanych
do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia
Operatora Systemu Dystrybucyjnego**

Gdańsk, luty 2017 r.

Kryteria przyłączania oraz wymagania techniczne dla mikroinstalacji i małych instalacji przyłączanych do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia.

Niniejsze opracowanie jest syntetycznym przedstawieniem najważniejszych zagadnień związanych z kryteriami przyłączenia mikroinstalacji i małych instalacji przyłączanych do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Dokument ma zastosowanie na etapie planowania, budowy i uruchamiania generacji OZE przyłączanej do sieci niskiego napięcia. Przedstawione treści uwzględniają obowiązujące krajowe regulacje prawne, normy i przepisy branżowe, a także podobne rozstrzygnięcia i doświadczenia innych krajów europejskich.

1. Definicje

charakterystyka współczynnika mocy $\cos\varphi=f(P)$

zadana przez operatora charakterystyka zmian współczynnika mocy jednostki generacji w zależności od poziomu mocy wytwarzanej $\cos\varphi=f(P)$. Charakterystyka stosowana przy reżimie pracy ze zmiennym współczynnikiem mocy, nie ma zastosowania przy pracy z ustalonym współczynnikiem mocy.

impedancja zwarciorowa sieci w punkcie przyłączenia systemu generacji $Z_{kPCC}=R_{kPCC}+jX_{kPCC}$

suma impedancji linii od transformatora do miejsca przyłączenia i impedancji transformatora oraz impedancji ekwiwalentu systemu. Moduł impedancji w punkcie przyłączenia związany jest z mocą zwarciorową w punkcie przyłączenia i kwadratem napięcia znamionowego w punkcie przyłączenia:

$$S_{kPCC} = \sqrt{3}U_n I_{kPCC} = \frac{U_n^2}{Z_{kPCC}}$$
$$Z_{kPCC} = \frac{U_n^2}{S_{kPCC}}$$
$$Z_{kPCC} = \sqrt{R_{kPCC}^2 + X_{kPCC}^2}, \quad \psi_{kPCC} = \arctan\left(\frac{X_{kPCC}}{R_{kPCC}}\right)$$

harmoniczna napięcia n

napięcie sinusoidalne o częstotliwości równej całkowitej krotności częstotliwości podstawowej napięcia zasilającego. Harmoniczne mogą być określane indywidualnie, przez ich względną wartość u_h stosunku wartości skutecznych danej harmonicznej U_h do napięcia składowej podstawowej U_1 , gdzie h jest rzędem harmonicznej i łącznie przez całkowity współczynnik odkształcenia THD.

instalacja odbiorcy

instalacja elektryczna w rozumieniu zapisu w Rozporządzeniu MSWiA z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych za wyjątkiem urządzeń pomiarowych, wszystkie aparaty poniżej punktu dostarczania energii, służące do zasilania użytkowników sieci

interharmoniczna napięcia

napięcie sinusoidalne o częstotliwości zawartej pomiędzy harmonicznymi, tj. częstotliwości nie będącej całkowitą krotnością częstotliwości składowej podstawowej

jednostka generacji lub mikrogenerator

pojedynczy generator energii elektrycznej, w przypadku źródeł PV moduły PV razem z inwerterem

maksymalna moc czynna jednostki generacji $P_{E_{max}}$ (osiągalna moc czynna jednostki)

największa wartość osiągalnej trwale (w czasie co najmniej 10 min) mocy czynnej jednostki generacji

maksymalna moc pozorna jednostki generacji $S_{E_{max}}$ (osiągalna moc pozorna jednostki)

największa wartość osiągalnej trwale (w czasie co najmniej 10 min) mocy pozornej jednostki generacji wynikająca z ilorazu maksymalnej mocy czynnej jednostki i współczynnika mocy wskazanego przez OSD

$$S_{E_{max}} = \frac{P_{E_{max}}}{\cos \varphi}$$

mała instalacja

odnawialne źródło energii, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 40 kW i nie większej niż 200 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV

miejsce dostarczania energii elektrycznej

punkt w sieci, do którego przedsiębiorstwo energetyczne dostarcza energię elektryczną, określony w umowie o przyłączenie do sieci

migotanie światła (flicker)

wrażenie niestabilności postrzegania wzrokowego spowodowane przez bodziec świetlny, którego luminancja lub rozkład spektralny zmienia się w czasie

mikroinstalacja

odnawialne źródło energii, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV

moc zwarciowa systemu S_{kQ}

moc zwarciowa na szynach rozdzielni SN w GPZ bez udziału generacji po stronie nN

moc zwarciowa w punkcie przyłączenia systemu generacji S_{kPCC}

moc zwarciowa w fizycznym punkcie przyłączenia (PCC), która jest miarodajna do oceny wpływu przyłączenia systemu generacji na pracę sieci

szybka zmiana napięcia ΔU_{max}

pojedyncza szybka zmiana wartości skutecznej napięcia pomiędzy dwoma kolejnymi jego poziomami, które utrzymują się przez skończony, lecz nieokreślony przedział czasu

napięcie znamionowe sieci U_n

wartość skuteczna napięcia jednofazowego 230 V lub trójfazowego 230/400 V

odnawialne źródło energii

źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, aerotermalną, geotermalną, hydrotermalną, fal prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu pochodzącego ze składowisk odpadów, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych

powolna zmiana napięcia ΔU_a

zwiększenie lub zmniejszenie się średniej 10-minutowej wartości skutecznej napięcia zwykle spowodowane zmianami obciążenia w sieci lub zmianami generacji przyłączonej do tej sieci. W

przypadku powolnej zmiany napięcia, wyrażonej w procentach wartości znamionowej używa się małych liter Δu_a :

$$\Delta u_a = \frac{\Delta U_a}{U_n} 100\%$$

przyłącze

odcinek lub element sieci służący do połączenia urządzeń, instalacji lub sieci odbiorcy o wymaganej przez niego mocy przyłączeniowej z siecią przedsiębiorstwa energetycznego

punkt przyłączenia

punkt w sieci, w którym przyłącze łączy się z siecią

punkt przyłączenia systemu generacji wchodzącego w skład mikroinstalacji lub małej instalacji (PCC)

punkt w sieci brany pod uwagę przy ocenie możliwości przyłączenia systemu generacji – złącze lub inny punkt w sieci nN wskazany przez przedsiębiorstwo energetyczne.

uciążliwość migotania światła

poziom dyskomfortu spowodowany migotaniem światła, wyznaczony metodą pomiarową migotania i określony za pomocą następujących wielkości:

- **wskaźnik krótkookresowego migotania światła (P_{st})**, mierzony przez 10 minut
- **wskaźnik długookresowego migotania światła (P_{lt})**, obliczony z sekwencji 12 kolejnych wartości P_{st} występujących w okresie dwóch godzin

współczynnik mocy $\cos\phi$

cosinus przesunięcia fazowego pomiędzy składową podstawową (pierwszą harmoniczną) prądu fazowego oraz napięcia fazowego (tzw. DPF – displacement power factor). Jeśli podczas wytwarzania mocy czynnej wytwarzana jest moc bierna o charakterze indukcyjnym, współczynnik mocy ma charakter indukcyjny ($\cos\phi_{ind}$). Jeżeli podczas wytwarzania mocy czynnej wytwarzana jest moc bierna o charakterze pojemnościowym współczynnik mocy ma charakter pojemnościowy ($\cos\phi_{poj}$). Wartość współczynnika mocy zadawana jest przez operatora systemu dystrybucyjnego ($\cos\phi = \cos\phi_{zadany}$). Dopuszcza się pracę ze zmiennym współczynnikiem mocy z zadaną przez operatora charakterystyką współczynnika mocy $\cos\phi(P)$

zmiana napięcia

zwiększenie lub zmniejszenie się skutecznej wartości napięcia z rozróżnieniem powolnej i nagłej zmiany napięcia.

2. Kryteria przyłączania mikroinstalacji i małych instalacji do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia

Decyzja o przyłączeniu mikroinstalacji bądź małej instalacji do sieci elektroenergetycznej nN wymaga oceny szeregu parametrów odwzorowujących wpływ źródeł energii na warunki pracy sieci. Istotą jest sprawdzenie, czy praca rozważanego źródła nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnego poziomu wskaźników jakości energii czy też przeciążenia elementów układu sieciowego.

Przeprowadzenie oceny możliwości przyłączenia wymaga zebrania szeregu danych i informacji o warunkach sieciowych w planowanym punkcie przyłączenia mikroinstalacji lub małej instalacji oraz danych jednostek generacji.

Parametry zwarcia sieci w punkcie przyłączenia charakteryzują:

- moc zwarcia w punkcie przyłączenia S_{kPCC} , wyznaczona bez udziału rozważanej generacji,
- impedancja zwarcia sieci w punkcie przyłączenia $Z_{kPCC} = R_{kPCC} + jX_{kPCC}$,
- argument impedancji zwarcia sieci w punkcie przyłączenia ψ_k .

Pomiędzy parametrami sieci w punkcie przyłączenia systemu generacji występują zależności:

$$Z_{kPCC} = \sqrt{R_{kPCC}^2 + X_{kPCC}^2} ; \quad \psi_{kPCC} = \arctan\left(\frac{X_{kPCC}}{R_{kPCC}}\right)$$

$$S_{kPCC} = \sqrt{3} U_n I_{kPCC} = \frac{U_n^2}{Z_{kPCC}}$$

$$Z_{kPCC} = \frac{U_n^2}{S_{kPCC}}$$

Podstawowe parametry źródła wchodzącego w skład mikroinstalacji lub małej instalacji obejmują następujące wielkości:

- maksymalna (osiągalna) moc pozorna jednostki generacji S_{Emax} oraz systemu generacji S_{Amax} ,
- maksymalna (osiągalna) moc czynna jednostki generacji P_{Emax} oraz systemu generacji P_{Amax} ,
- współczynnik mocy $\cos\varphi$ z podaniem charakteru $\cos\varphi_{ind}$ lub $\cos\varphi_{poj}$:

$$S_{Emax} = \frac{P_{Emax}}{\cos\varphi_{ind}} \quad \text{lub} \quad S_{Emax} = \frac{P_{Emax}}{\cos\varphi_{ipoj}}$$

$$S_{Amax} = \frac{P_{Amax}}{\cos\varphi_{ind}} \quad \text{lub} \quad S_{Amax} = \frac{P_{Amax}}{\cos\varphi_{ipoj}}$$

- charakterystyka współczynnika mocy $\cos\varphi(P)$,
- współczynnik rozruchu jednostki generacji k wynikający ze stosunku prądu rozruchowego jednostki generacji I_{aE} do jej prądu znamionowego I_{rE}

$$k = \frac{I_{aE}}{I_{rE}}$$

Ocena wpływu przyłączenia systemu generacji na pracę sieci nN polega na wyznaczeniu i porównaniu z dopuszczalnymi wartościami następujących wskaźników:

- zmiany napięcia ΔU_a , (ΔU_a w procentach)
- nagłe zmiany napięcia ΔU_{max} , (ΔU_{max} w procentach)
- migotanie światła P_{stv} P_{lt}
- harmoniczne i interharmoniczne n
- asymetria napięcia k_{u2}
- zakłócenia komutacyjne d_{kom}
- zakłócenia transmisji sygnałów
- maksymalne prądy zwarcia.

2.1. Odchylenie i zmiana poziomu napięcia

Według normy PN-EN 50160:2010, w normalnych warunkach pracy napięcia zasilające w sieci niskiego napięcia powinny mieścić się w przedziale $U_n \pm 10\%$. Różnica między wartością aktualną napięcia i znamionową jest odchyleniem napięcia i nie powinno ono przekraczać wartości $\pm 10\% U_n$. Zmiana obciążenia w sieci powoduje zmianę (zwiększenie lub zmniejszenie) wartości napięcia. Podobne skutki wywołuje praca źródeł energii przyłączonych do sieci. Zgodnie z normą PN-EN 61000-

3-3:2011 (dla odbiorników o fazowym prądzie ≤ 16 A) i PN-EN 61000-3-11:2004 (dla odbiorników o fazowym prądzie ≤ 75 A) **ustalona względna zmiana napięcia** wywołana pracą tych odbiorników nie powinna przekraczać 3,3%. Biorąc powyższe pod uwagę, przyjmuje się, że dla normalnego układu pracy sieci zmiana poziomu napięcia spowodowana pracą wszystkich jednostek wytwórczych w sieci nN nie powinna przekroczyć w żadnym z punktów tej sieci, w tym w rozpatrywanym punkcie przyłączenia mikroinstalacji lub małej instalacji, 3% poziomu napięcia bez generacji. Zmianę napięcia odnosi się do napięcia znamionowego.

$$\Delta u_{a\%} \leq 3\%$$

W przypadku przybliżonej oceny wpływu na poziom napięć w sieci nN więcej niż jednej mikroinstalacji lub małej instalacji dopuszczalne jest zastosowanie metody superpozycji. Wpływ wielu mikroinstalacji lub małych instalacji na poziom napięcia w punktach ich przyłączenia określa się wtedy poprzez algebraiczne (tj. ze znakiem) sumowanie zmian napięcia powodowanych pracą poszczególnych mikroinstalacji lub małych instalacji. W określeniu tych zmian napięcia należy uwzględnić charakter generacji tzn. $\cos\varphi$ indukcyjny $\cos\varphi_{ind}$ lub pojemnościowy $\cos\varphi_{poj}$ mikroinstalacji lub małych instalacji.

Zmiana napięcia w punkcie przyłączenia systemu generacji PCC zależy od mocy zwarciowej w tym punkcie. W obliczeniach przybliżonych pomija się impedancję przyłącza i wtedy do obliczeń bierze się zastępczą impedancję zwarciową na początku przyłącza $Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV}$.

$$Z_{kV} = \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} ; \quad \psi_{kV} = \arctan\left(\frac{X_{kV}}{R_{kV}}\right)$$

W przypadku pracy mikroinstalacji lub małej instalacji o rozważanej mocy osiągalnej S_{Emax} ze współczynnikiem mocy o charakterze indukcyjnym $\cos\varphi_{ind}$ (mikroinstalacja lub mała instalacja oddaje moc bierną indukcyjną do sieci) można wyznaczyć zmianę napięcia w obliczeniowym punkcie przyłączenia Δu_a ze wzoru:

$$\Delta u_a = \frac{S_{Emax}(R_{kV}\cos|\varphi_{ind}| - X_{kV}\sin|\varphi_{ind}|)}{U_n^2} 100\%$$

W przypadku pracy mikroinstalacji lub małej instalacji o rozważanej mocy osiągalnej S_{Emax} ze współczynnikiem mocy o charakterze pojemnościowym $\cos\varphi_{poj}$ (mikroinstalacja lub mała instalacja wprowadza do sieci moc bierną o charakterze pojemnościowym) zmiana napięcia w obliczeniowym punkcie przyłączenia Δu_a określona jest wtedy wzorem:

$$\Delta u_a = \frac{S_{Emax}(R_{kV}\cos|\varphi_{poj}| + X_{kV}\sin|\varphi_{poj}|)}{U_n^2} 100\%$$

Praca źródła w trybie produkcji tylko mocy czynnej tj. ze stałym współczynnikiem mocy $\cos\varphi=1$ tj. $\varphi=0^\circ$ powoduje podwyższenie napięcia w obliczeniowym punkcie przyłączenia o wartość:

$$\Delta u_a = \frac{S_{Emax}(R_{kV})}{U_n^2} 100\%$$

2.2. Wahania napięcia

Zjawisko wahań napięcia, nagłych zmian napięcia, związane jest głównie z operacjami łączeniowymi. Przy odpowiednim nasileniu i częstotliwości tych zjawisk może dojść do zjawiska migotania światła. Wahania napięcia w punkcie przyłączenia systemu generacji PCC spowodowane operacjami łączeniowymi mikroinstalacji lub małej instalacji w normalnych warunkach pracy sieci nie powinny przekroczyć 3% napięcia znamionowego U_n w punkcie przyłączenia.

$$\Delta u_{max} < 3\%$$

Przy czym wartość ta nie może występować częściej niż raz na 10 minut.

Do obliczania wahań napięcia wykorzystuje się następujące wielkości:

- S_{kPCC} - moc zwarciovą w miejscu przyłączenia jednostki wytwórczej. W przypadku braku dokładnych danych o przyłączy można wykorzystać moc zwarciovą S_{kv} na początku przyłącza.
- $S_{E\max}$ - osiągalną moc pozorną jednostki generacji.
- I_{aE} - prąd rozruchowy jednostki generacji.
- I_{rE} - znamionowy prąd ciągły jednostki generacji.
- k - współczynnik rozruchu.

Możliwe jest oszacowanie wpływu jednostki generacji o zadanym charakterze rozruchu na nagłe zmiany napięcia w punkcie przyłączenia systemu generacji PCC na podstawie wyrażenia:

$$\Delta u_{max} = k \frac{S_{E\max}}{S_{kPCC}} 100\% < 3\%$$

lub

$$\frac{S_{kPCC}}{S_{kE\max}} > \frac{100k}{3}$$

Gdzie:

$$k = \frac{I_{aE}}{I_{rE}} \text{ - prąd rozruchowy.}$$

Jeśli współczynnik k nie jest wyznaczany na podstawie dokładnych danych jednostki generacji, to można przyjąć wartości referencyjne:

- $k=1,2$ – dla jednostek generacji przyłączanych przez inwerter, jak np. układy fotowoltaiczne,
- $k=1,2$ – dla generatorów synchronicznych,
- $k=4$ – dla generatorów asynchronicznych włączanych do sieci po doprowadzeniu do 95-105% prędkości synchronicznej,
- $k=8$ – dla generatorów asynchronicznych z rozruchem silnikowym (włączanych do sieci jako silnik).

Korzystając z definicji **współczynnika zwarciovego w punkcie przyłączenia systemu generacji R_{kPCC}** , jako ilorazu mocy zwarcioviej w miejscu przyłączenia do mocy osiągalnej urządzenia, który dla urządzeń 3-fazowych symetrycznych wynosi:

$$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E\max}},$$

można wyrazić wzór na szybkie zmiany napięcia z wykorzystaniem współczynnika zwarciovego

$$\Delta u_{\max} = \frac{S_{E \max}}{S_{kPCC}} 100\% = \frac{1}{R_{kPCC}} 100\% < 3\%$$

Stąd

$$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E \max}} > \frac{100k}{3}$$

W tabeli 3 zamieszczono wartości współczynnika zwarciovego R_{kPCC} wymagane dla jednostek generacji różnego typu (o różnym współczynniku rozruch k) w celu utrzymania nagłych zmian napięci na poziomie dopuszczalnym.

Tab.3 Wymagane wartości współczynnika zwarciovego R_{kPCC} dla jednostek generacji różnego typu (o różnym współczynniku rozruch k).

k	1	1.2	2	4	8	Uwagi
$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E \max}}$	33,3	40	66,6	133,3	266,6	Dla $\Delta u_{\max} = 3\%$
	20	24	40	80	160	Dla: $\Delta u_{\max} = 5\%$

2.3. Migotanie światła

Przy odpowiednim nasileniu i częstotliwości wahań napięcia związanych z operacjami łączeniowymi może dojść do efektu zauważalnego ludzkim okiem wyrażającego się wrażeniem migotania światła. Parametrem technicznym służącym ocenie uciążliwości migotania światła jest współczynnik długookresowego migotania światła P_{lt} oraz współczynnik krótkookresowego migotania światła P_{st} .

W przypadku migotania światła zastosowanie mają następujące wymagania:

- wartość P_{st} nie powinna być większa niż 1,0; $P_{st} < 1.0$
- wartość P_{lt} nie powinna być większa niż 0,65; $P_{lt} < 0.65$

Ponieważ badania migotania światła i wahań napięcia przeprowadza się według tych samych norm, zatem jako kryterium decydujące o przyłączeniu źródła w danym punkcie PCC, ze względu na możliwy efekt migotania światła, można wykorzystać kryterium nawiązujące do badań według normy 61000-3-3/3-11.

Ponadto, jeśli w danym punkcie sieci rozważane jest przyłączenie mikroinstalacji lub małej instalacji zbudowanej z wielu różnych jednostek generacji, to wyznaczenie wypadkowego wskaźnika migotania światła jest możliwe na podstawie wskaźników migotania światła wnoszonych przez poszczególne jednostki generacji:

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_{i=1}^N P_{ltEi}^2}$$

Dla systemu generacji zbudowanego z N jednostek generacji tego samego typu oszacowanie wypadkowego wskaźnika migotania światła określa wzór:

$$P_{lt} = \sqrt{N} \cdot P_{ltE}$$

2.4. Harmoniczne – emisja harmoniczných w prądzie

Udział harmoniczných w prądzie wpływającym ze źródła do sieci nN ma bezpośredni wpływ na wzrost harmoniczných w napięciu, ze względu na spadki napięć od odkształconego prądu na elementach impedancji systemu. Ograniczenie emisji harmoniczných w prądzie służy więc bezpośrednio zachowaniu ich poziomów dopuszczalnych w napięciu.

Limity dopuszczalne harmoniczných w prądzie ustalone są przez normy:

- PN-EN 61000-2-2:2003 o ogólnych poziomach kompatybilności,
- PN-EN 50438:2010 dla mikroźródeł oraz PN-EN 61000-3-2:2007 dla urządzeń o prądzie znamionowym do 16A,
- PN-EN 61000-3-12:2012 dla urządzeń o prądzie znamionowym >16A i <75A.

Tab. 4. Poziomy dopuszczane emisji harmoniczných prądu dla urządzeń klasy A (PN-EN 61000-3-2:2007) oraz mikroźródeł do 16A (PN-EN 50438:2010)

Rząd harmoniczných n	Maksymalny dopuszczalny prąd harmoniczných [A]
Harmoniczne nieparzyste	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \cdot \frac{15}{n}$
Harmoniczne parzyste	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot \frac{8}{n}$

W zakresie emisji harmoniczných dla mikroinstalacji o prądzie do 16A znajdują zastosowanie zapisy normy PN-EN 61000-3-2:2007 z ulokowaniem układów mikroinstalacji jako urządzeń klasy „A”. Biorąc pod uwagę zapożyczenie elementów normy kompatybilnościowej PN-EN 61000-3-2:2007 dla mikroinstalacji do 16A, oraz od 16 do 75A można wykorzystać analogiczne zapisy normy dla odbiorników o tym zakresie prądów, tj. PN-EN 61000-3-12:2012.

Wprowadzenia limitów harmoniczných w prądzie dla jednostek generacji można dokonać odwołując się do następujących parametrów związanych z miejscem przyłączenia i charakterystyką urządzenia:

- S_{kPCC} - moc zwarciovą w miejscu przyłączenia jednostki wytwórczej,
- $S_{E\max}$ – osiągalna moc pozorna jednostki generacji,
- R_{kPCC} – współczynnik zwarciový w punkcie przyłączenia systemu generacji

$$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E\max}},$$

- I_{rE} - znamionowy prąd ciągły jednostki generacji,

- I_1 – podstawowy prąd odniesienia tj. wartość skuteczna składowej podstawowej (1-szej harmonicznej) prądu znamionowego I_{rE} uzyskana z pomiaru lub podana przez producenta,
- THD_i (total harmonic distortion) – współczynnik zawartości harmonicznych w prądzie,

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

- $PWHD_i$ (partial weighted harmonic distortion) – częściowo ważony współczynnik odkształcenia harmonicznego w prądzie,

$$PWHD_i = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \cdot \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

Poziomy dopuszczalne dla harmonicznego prądu określone są dla minimalnej wartości $R_{kPCC}=33$. Nie są rozważane współczynniki zwarciove mniejsze niż 33. Przenosząc zapis na obszar mikroinstalacji i małych instalacji stwierdza się, że certyfikowane mikroinstalacje i małe instalacje można przyłączać w miejscach, gdzie moc zwarciova w punkcie przyłączenia jest przynajmniej 33 razy większa niż moc planowanego do przyłączenia źródła. Jest to „najniższy” dopuszczalny punkt przyłączeniowy przeznaczony do współpracy z urządzeniami emitującymi harmoniczne w prądzie. Dla „mocniejszych” miejsc przyłączenia tj. o większym mocach zwarciowych (mniejszych impedancja zwarciova systemu) limity dopuszczalne harmonicznego w przepływającym prądzie są większe.

Jeśli mikroinstalacja lub mała instalacja posiada certyfikat zgodności z normami PN-EN 61000-3-2/3-12 oraz jeśli współczynnik zwarciovy w punkcie przyłączenia R_{kPCC} jest przynajmniej równy 33, można przyjąć, że przyłączenie źródła nie wprowadzi harmonicznego prądu ponad dopuszczalne limity.

2.5. Asymetria napięcia

Efekt niesymetrii (asymetrii) napięć w ocenie jakości energii kategoryzowany jest w zjawiskach długoterminowych tj. w przedziałach czasu 10 minutowych i dłuższych. Asymetria widoczna jest poprzez zmianę wartości skutecznych napięć lub ich kątów fazowych w stosunku do symetrycznego układu trzech wektorów. Podstawę oceny stanowi udział składowej przeciwnej napięcia w odniesieniu do składowej zgodnej.

$$k_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$$

Asymetria napięć może wpływać na pracę trójfazowych odbiorników poprzez przeciążanie prądowe w maszynach wirujących, generację niecharakterystycznych harmonicznego w przekształtnikach energoelektronicznych, problemy z synchronizacją lub błędy w układach sterowania urządzeń. Z tego punktu widzenia nierównomierne rozłożenie w fazach sieci jednofazowych mikroinstalacji i małych instalacji może stać się źródłem przepływu prądów składowej przeciwnej i asymetrii napięć.

Norma PN-EN 61000-2-2: określa poziom kompatybilności dla pracy urządzeń w sieciach publicznych pod względem asymetrii na poziomie **2%** składowej symetrycznej przeciwnej w odniesieniu do składowej symetrycznej zgodnej. W sieciach przemysłowych, o których traktuje zeszyt 2-4 normy, dopuszcza się podwyższony poziom asymetrii do **3%**.

Dodatkowo norma zawiera, iż asymetrię wywołaną przez przyłączanie jednofazowych odbiorników można w praktyce oszacować przez stosunek mocy przyłączanego urządzenia jednofazowego do trójfazowej mocy zwarciowej w miejscu przyłączenia.

$$k_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{S_{1E \max}}{S_{kPCC}} \rightarrow S_{1E \max} = k_{u2} \cdot S_{kPCC}$$

W przypadku braku dokładnych danych o przyłączy można wykorzystać moc zwarciową S_{kv} na początku przyłącza.

2.6. Wpływ na prądy zwarciove

Wpływ jednostek generacji na prądy zwarciove w punkcie przyłączenia zależy od rodzaju jednostek generacji. Dla oszacowania prądu zwarciowego płynącego od danego typu jednostki generacji przyjmuje się następujące wskaźniki:

- $I_{KE} = 8I_{rE}$ dla generatorów synchronicznych,
- $I_{KE} = 6I_{rE}$ dla generatorów asynchronicznych przyłączonych bezpośrednio do sieci,
- $I_{KE} = 1,0I_{rE}$ dla źródeł przyłączanych przez przekształtnik (falownik).

Wpływ układów generacji na poziomy prądów zwarciowych w sieci nN winien być uwzględniany z pojawieniem się każdego nowego źródła.

3. Weryfikacja możliwości przyłączenia

Weryfikacja możliwości przyłączenia mikroinstalacji lub małej instalacji do sieci niskiego napięcia polega na:

- a) sprawdzeniu zachowania poziomu napięcia w zakresie $\pm 10\% U_n$ oraz zmian napięcia (odchyleń i zmian poziomu napięcia) według poniższej zależności:

$$\Delta u_{a\%} = \frac{S_{Amax}(R_{kPCC} \cos \varphi + X_{kPCC} \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100\% \leq 3\%$$

gdzie:

R_{kPCC} , X_{kPCC} – impedancja i reaktancja sieci w punkcie przyłączenia źródła

$\cos \varphi$ ($\sin \varphi$) – współczynnik mocy z jakim pracuje źródło

U_n – napięcie sieci

- b) sprawdzeniu ograniczeń szybkich zmian napięcia wywołanych załączeniem pojedynczego źródła (wahań napięcia):

$$\Delta u_{max} = k \cdot \frac{S_{Amax}}{S_{kPCC}} \cdot 100\% \leq 3\% \rightarrow \frac{S_{kPCC}}{S_{Amax}} \geq \frac{100 \cdot k}{3}$$

gdzie:

k – współczynnik rozruchu:

$k=1,2$ (dla źródeł fotowoltaicznych i generatorów synchronicznych)

$k=4$ (dla generatorów asynchronicznych włączanych do sieci po doprowadzeniu do 95-105% prędkości synchronicznej)

$k=8$ (dla generatorów asynchronicznych z rozruchem silnikowym - włączanych do sieci jako silnik)

- c) sprawdzeniu długotrwałej obciążalności prądowej:

$$I_{max} = \sum I_{rA\ PCC} < I_{dop}$$

gdzie:

$I_{rA\ PCC}$ – maksymalny prąd wprowadzany do sieci przez istniejące i nowe źródła

I_{dop} – prąd dopuszczalny długotrwale linii niskiego napięcia

- d) sprawdzeniu wytrzymałości zwarciowej urządzeń elektroenergetycznych:

Niniejsze sprawdzenie polega na obliczeniu maksymalnego prądu zwarciowego jaki może wystąpić na szynach nN w stacji transformatorowej SN/nN po przyłączeniu źródła wytwórczego (z uwzględnieniem źródeł istniejących) i weryfikacji parametrów istniejących urządzeń elektroenergetycznych pod kątem ich wytrzymałości zwarciowej,

- e) sprawdzeniu mocy znamionowej transformatora zainstalowanego w stacji SN/nN:

Weryfikacji podlega spełnienie zależności, aby całkowita moc przyłączeniowa wszystkich źródeł (pracujących lub planowanych do przyłączenia) nie przekroczyła mocy znamionowej transformatora zainstalowanego (lub planowanego w ramach eksploatacji do zainstalowania) w stacji SN/nN.

4. Wyłączenie mikroinstalacji i małych instalacji

OSD ma prawo żądać wyłączenia systemu generacji a także ma prawo dokonać takiego wyłączenia w następujących przypadkach:

- zagrożenie systemu generacji,
- przeciążenie lub wystąpienie ryzyka przeciążenia sieci OSD,
- zagrożenie pozostania systemu generacji w pracy wyspowej,
- zagrożenie stabilności napięciowej,
- nadmierny wzrost częstotliwości,
- konieczność naprawy lub wymiany liczników,
- w razie awaryjnego zarządzania generacją w systemie elektroenergetycznym.

5. Algorytm sprawdzania warunków technicznych przy rozpatrywaniu zgłoszeń i wniosków o przyłączenie mikroinstalacji i małych instalacji do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia

