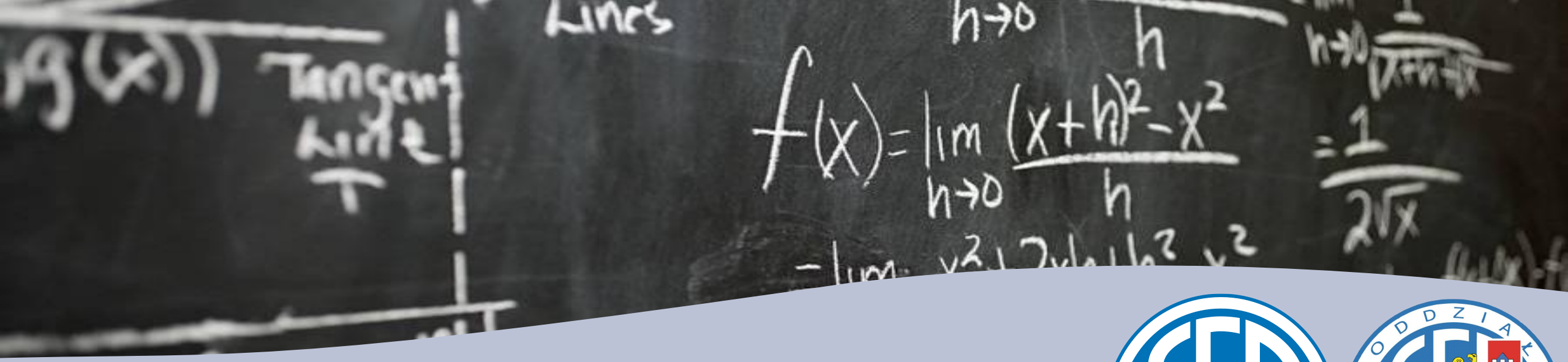


Moc bierna – perspektywa operatora i odbiorcy

Targi ENERGETAB, Bielsko-Biała, 16.09.2025

Program

prof. Sławomir Cieślik, Prezes Stowarzyszenia Elektryków Polskich

dr Marcin Fice, Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej,

prezes SEP o. Gliwicki

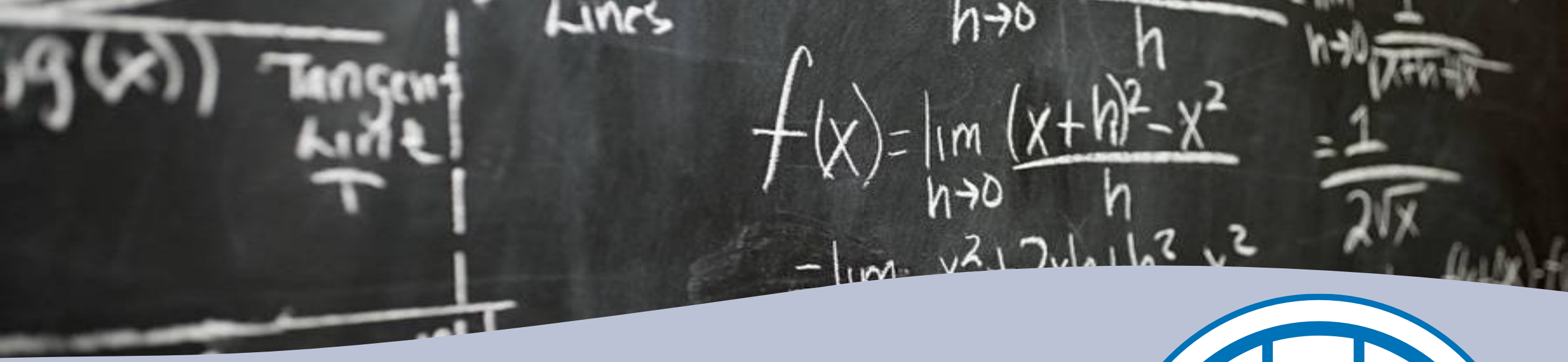
dr Tomasz Kraszewski, Prezes Pevna Energy,

Skarbnik SEP o. Gliwicki

Marek Iwanicki, Prezes OLMEX KMB Sp. z o.o.

Przemysław Szafrański, RABBIT Sp. z o.o.

Izabela Bybel-Spalińska, Perfand Led Sp. z o.o.



prof. Sławomir Cieślik

Targi ENERGETAB, Bielsko-Biała, 16.09.2025

Co to jest moc i energia bierna?

Moc pozorna

$$S = U \cdot I, [VA] \qquad S = \sqrt{P^2 + Q^2}, [VA]$$

Moc czynna

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi\,, [W]$$

Moc bierna ???

$$P = U \cdot I \cdot \sin\varphi\,, [var]$$

Co to jest moc i energia bierna?

Teoria/autor	rok	Idea definicji mocy biernej	Zalety	Wady	Zastosowanie
Steinmetz	1892	Q = część urojona mocy zespolonej S=U·I* (sinusoidy)	Prosta, intuicyjna, fundament elektrotechniki	Tylko dla sinusoidalnych przebiegów	Podstawowa teoria, norma IEC dla liczników energii biernej
Buchholz	1922	Rozszerzenie definicji S na układy trójfazowe niesymetryczne	Uwzględnia niesymetrię	Nadal zakłada sinusoidalność	Metrologia, układy trójfazowe klasyczne
Iliovici	1925	Q jako całka $\oint$ u·di (obszar pętli u–i)	Fizyczna interpretacja (energia wymieniana cyklicznie)	Trudne pomiarowo	Analizy teoretyczne, dydaktyka
Budeanu	1927	Podział: P (czynna), Q (bierna), D (odkształcenia)	Pierwsza próba ujęcia niesinusów	Q nie jest addytywne, błędne wnioski kompensacyjne	Historyczne znaczenie, podręczniki
Fryze	1931–32	Rozkład prądu: składowa czynna i nieczynna; Q z prądu nieczynnego	Działa przy przebiegach odkształconych	Brak jasnego rozdziału typów mocy nieczynnej	Fundament pod FBD i CPC

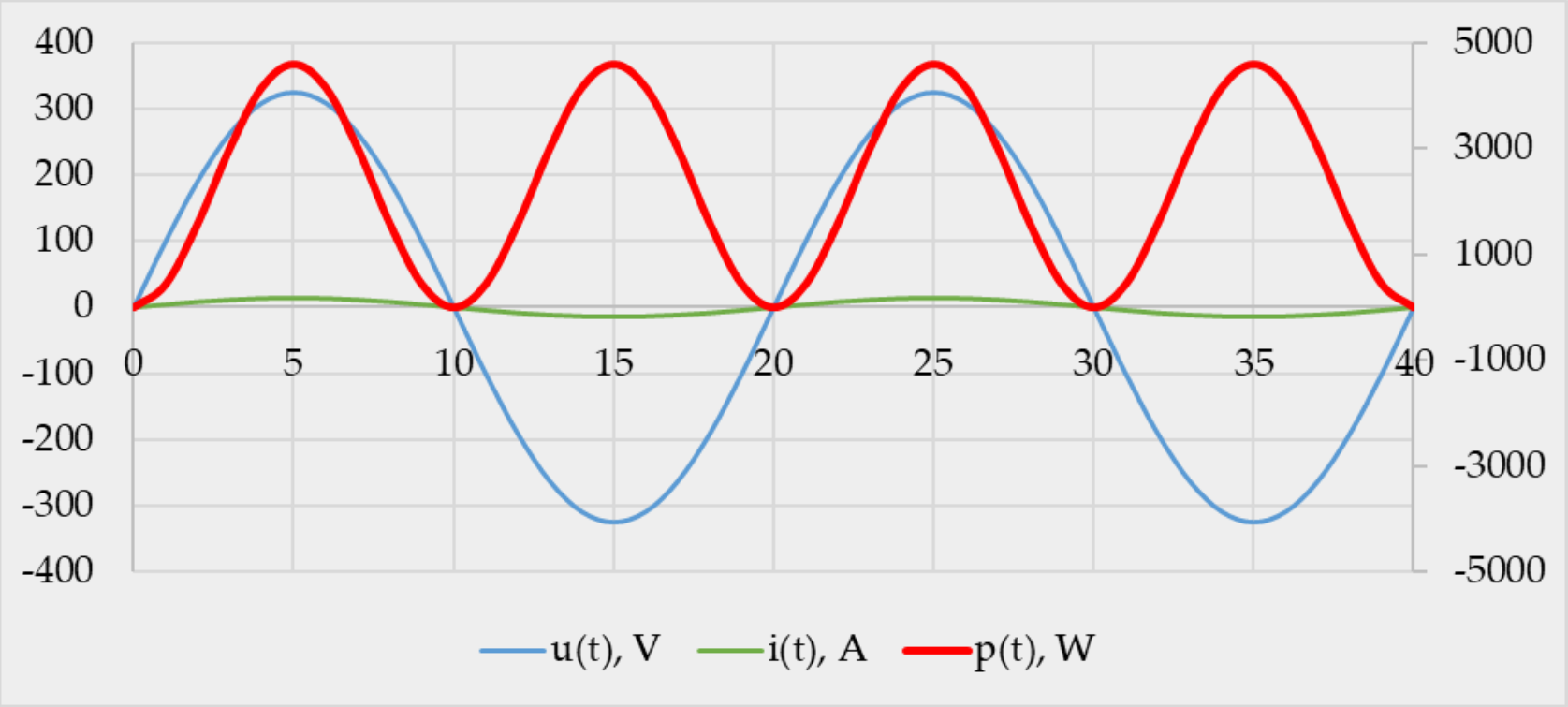
Co to jest moc i energia bierna?

Teoria/autor	rok	Idea definicji mocy biernej	Zalety	Wady	Zastosowanie
Shepherd & Zakikhani	1972	Definicja Q w domenie harmonicznych	Uogólnienie Steinmetza	Rzadko stosowana praktycznie	Badania nad niesinusami
Kusters & Moore	1980	Rozkład prądu na komponenty przenoszące P i Q	Spójne w niesinusach	Mało intuicyjne	Literatura naukowa, analizy sieci
Akagi, Kanazawa, Nabae	1983	Q jako moc chwilowa w układzie αβ0	Skuteczna do sterowania przekształtników	Nieintucyjna dla inż. klasycznego	Sterowanie filtrami aktywnymi, STATCOM
FBD (Fryze-Buchholz-Depenbrock)	1988/93	Spójny formalizm oparty na rozkładzie prądu	Spójność, możliwość kompensacji	Złożoność matematyczna	Niemiecka szkoła analizy mocy
Czarnecki, CPC (Currents' Physical Components)	od 1988	Rozkład prądu na fizycznie interpretowalne komponenty (czynny, bierny, odkształceniowy…)	Jasna fizyczna interpretacja, reguły kompensacji	Złożona analiza, nie w licznikach	Teoria, badania, projektowanie kompensacji
IEEE Std 1459	IEEE, 2000/2010/2025	Zestaw definicji mocy: czynnej, biernej, harmonicznych, niesymetrii	Standaryzacja, zgodność z pomiarami	Złożone, nieintuicyjne	Przyrządy pomiarowe, analizy PQ

Co to jest moc i energia bierna?

$\varphi=0°$, $\cos\varphi = 1$, $\mathrm{tg}\,\varphi = 0$

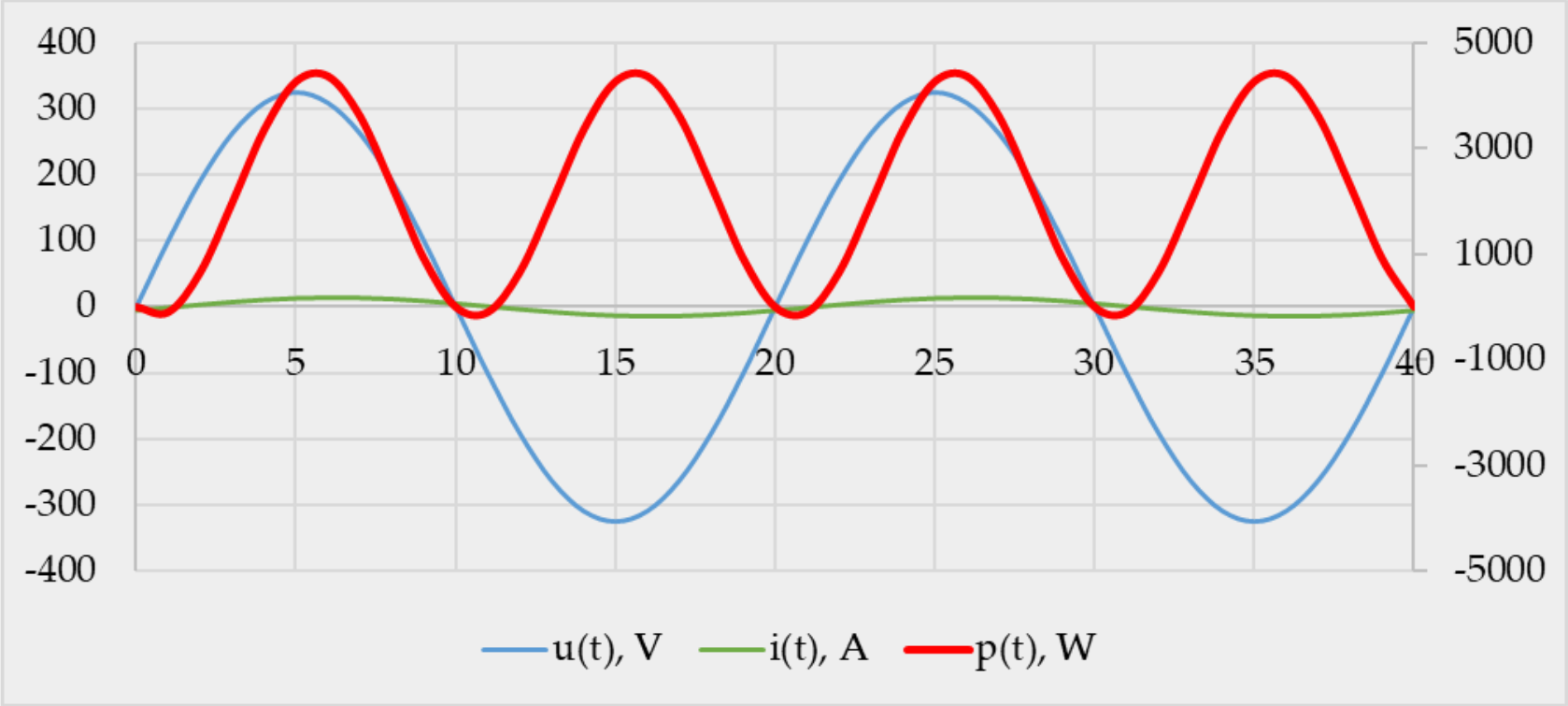
S	2,3	kVA
P	2,3	kW
Q	0	kvar



Co to jest moc i energia bierna?

$\varphi=22°$, $\cos\varphi = 0{,}93$, $\mathrm{tg}\,\varphi = 0{,}4$

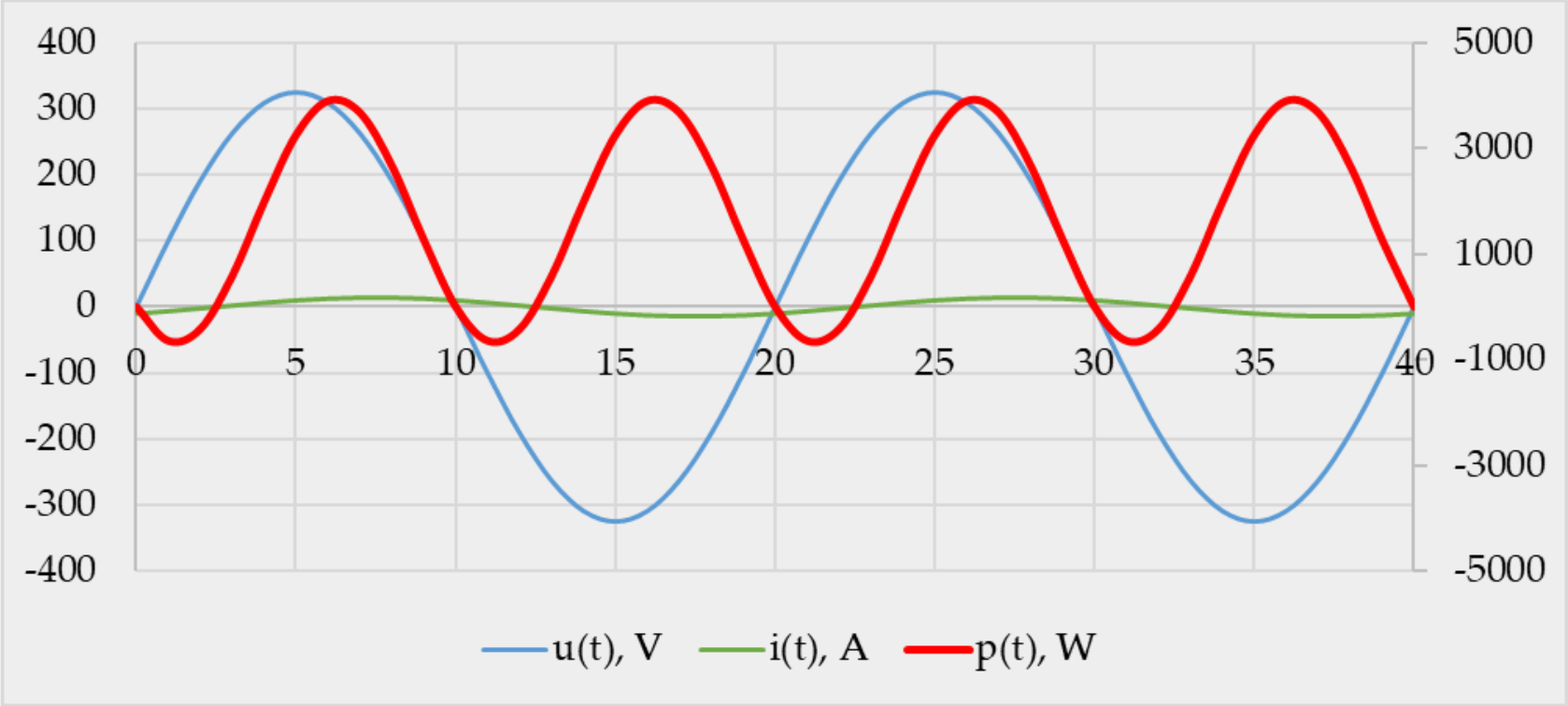
S	2,3	kVA
P	2,1	kW
Q	0,9	kvar



Co to jest moc i energia bierna?

$\varphi=45°$, $\cos\varphi = 0{,}71$, $\mathrm{tg}\,\varphi = 1$

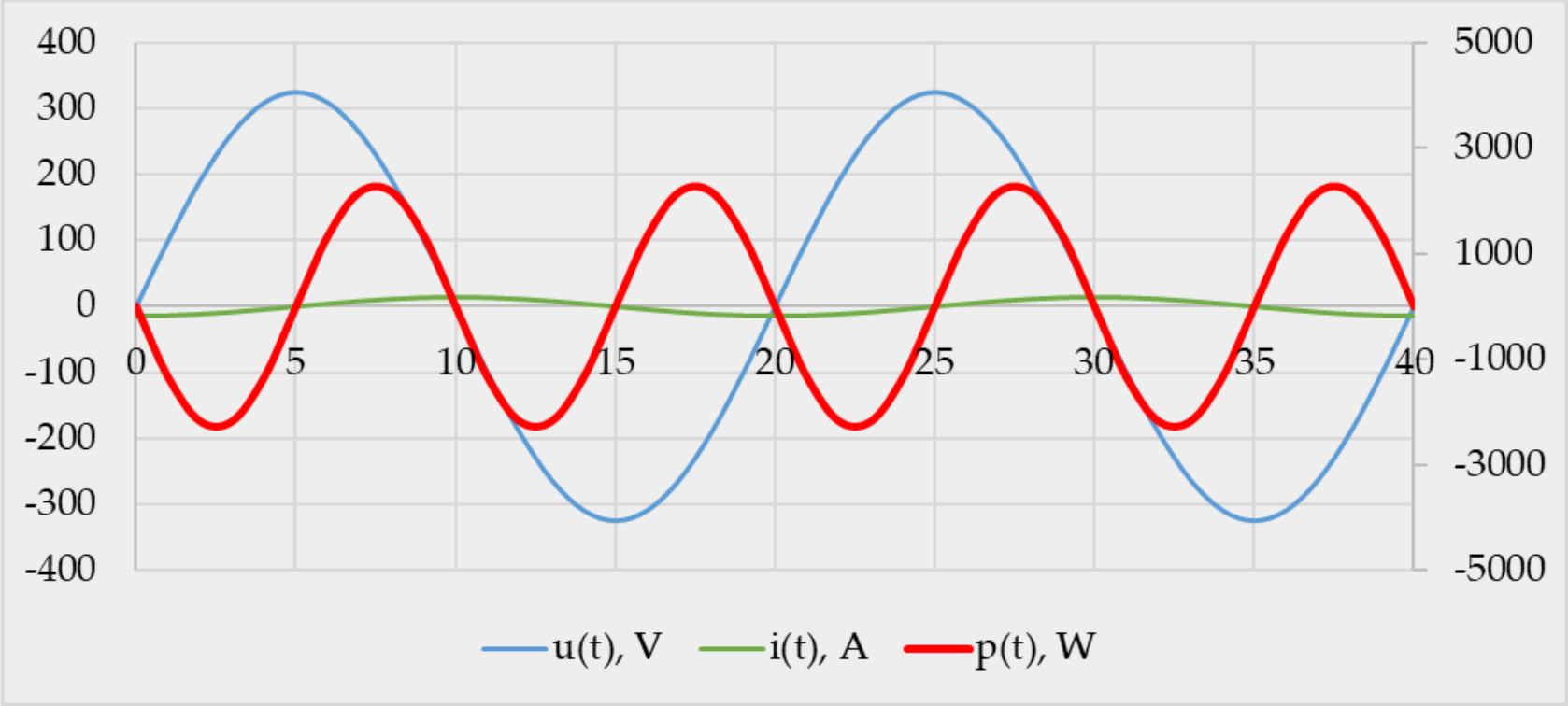
S	2,3	kVA
P	1,6	kW
Q	1,6	kvar



Co to jest moc i energia bierna?

$\varphi = 90°$, $\cos\varphi = 0$, $\mathrm{tg}\,\varphi = \uparrow$

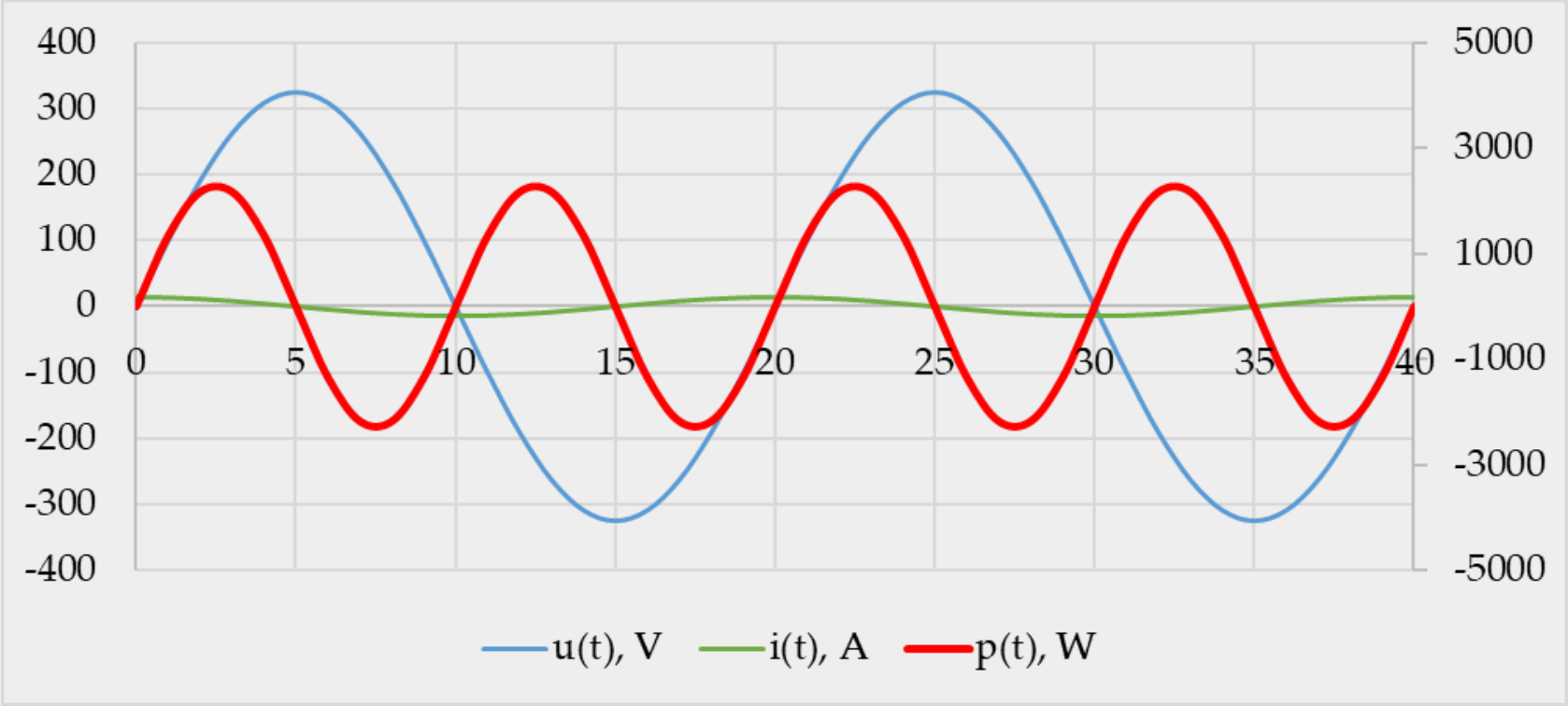
S	2,3	kVA
P	0	kW
Q	2,3	kvar



Co to jest moc i energia bierna?

φ=-90°, cos φ = 0, tg φ = ↑

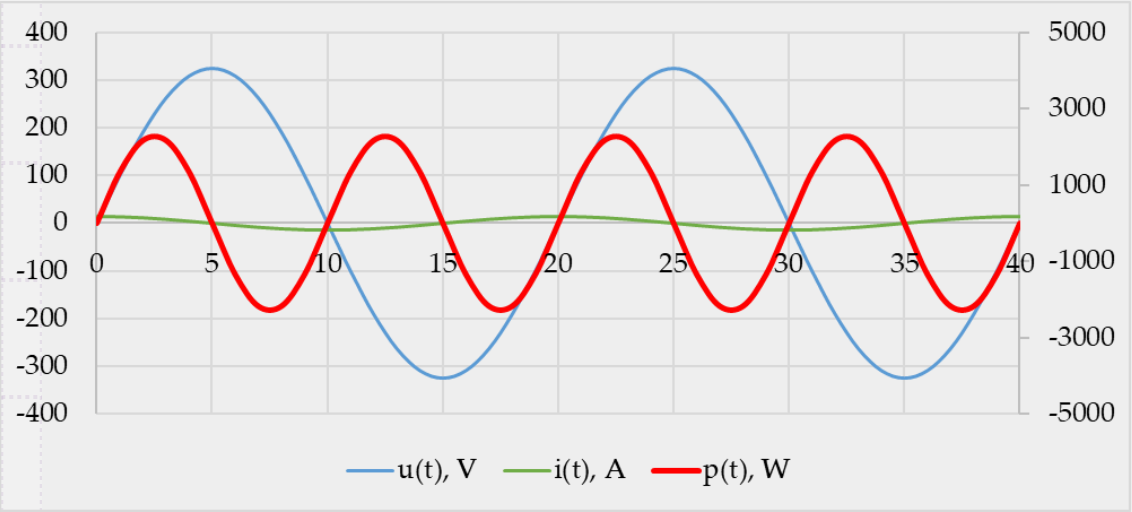
S	2,3	kVA
P	0	kW
Q	-2,3	kvar

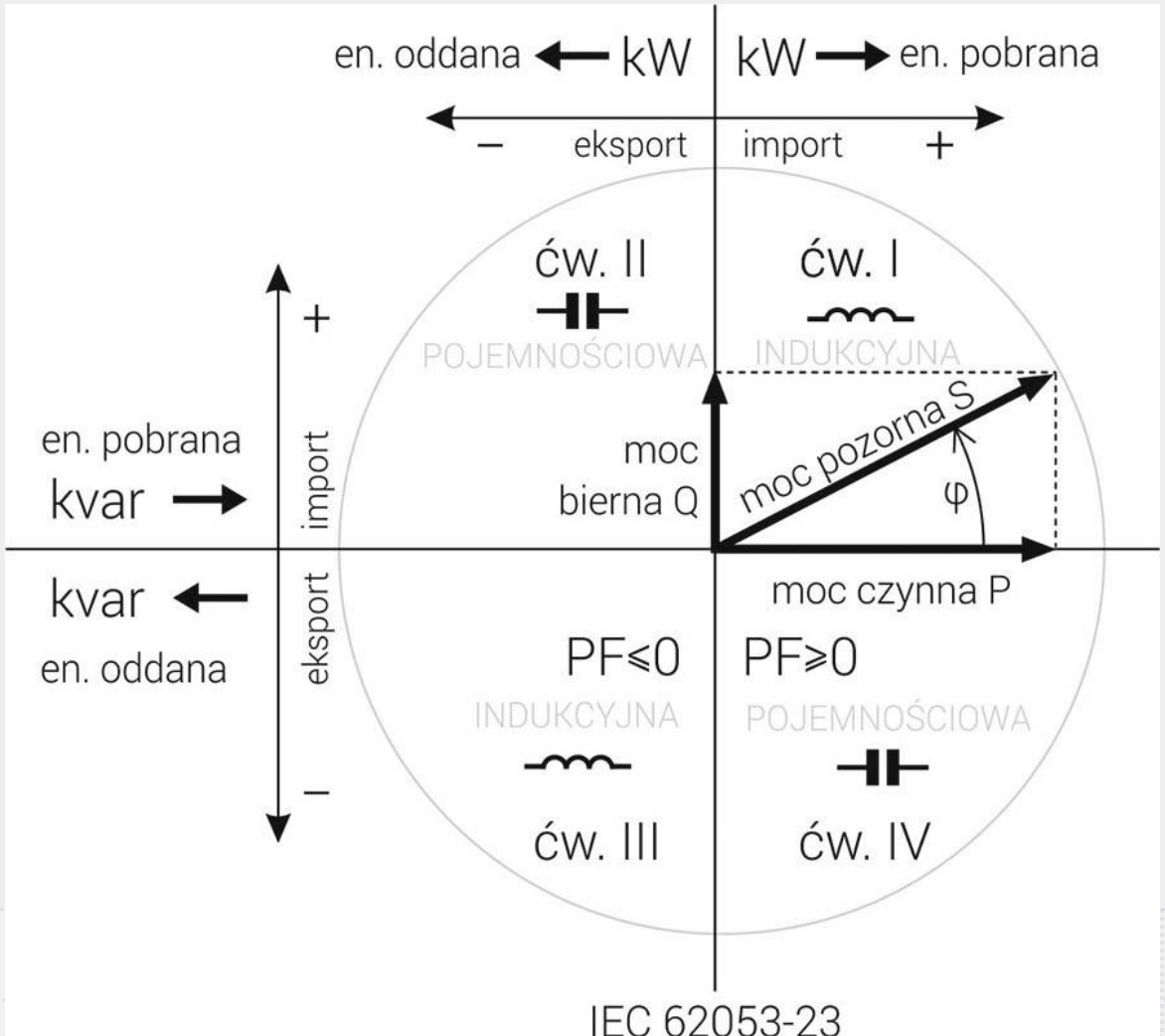


Moc bierna ma swój charakter

$$\varphi=-90°,\ \cos\varphi = 0,\ \mathrm{tg}\,\varphi = \uparrow$$

S	2,3	kVA
P	0	kW
Q	-2,3	kvar



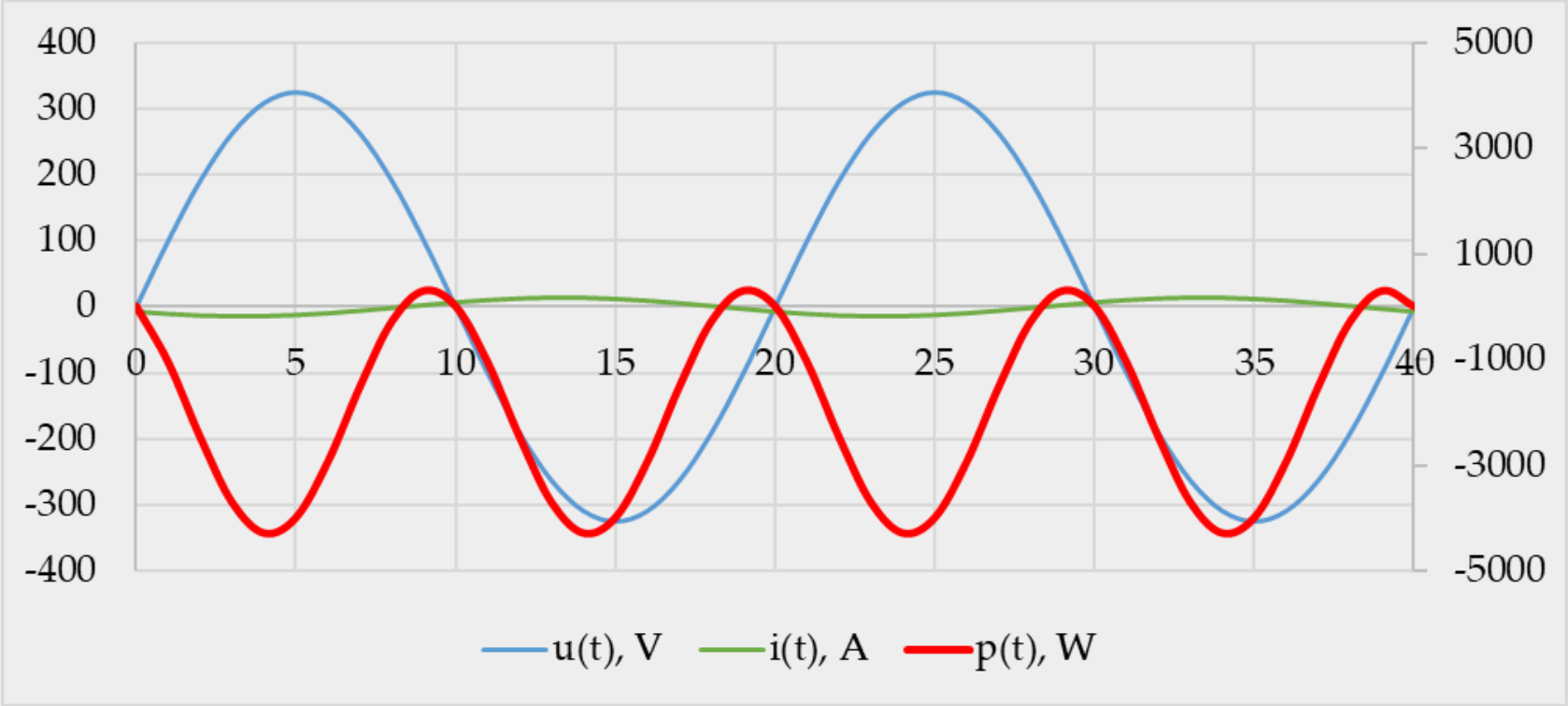


IEC 62053-23

Moc bierna ma swój charakter

$\varphi = 150°$, $\cos\varphi = -0{,}87$, $\mathrm{tg}\,\varphi = -0{,}58$

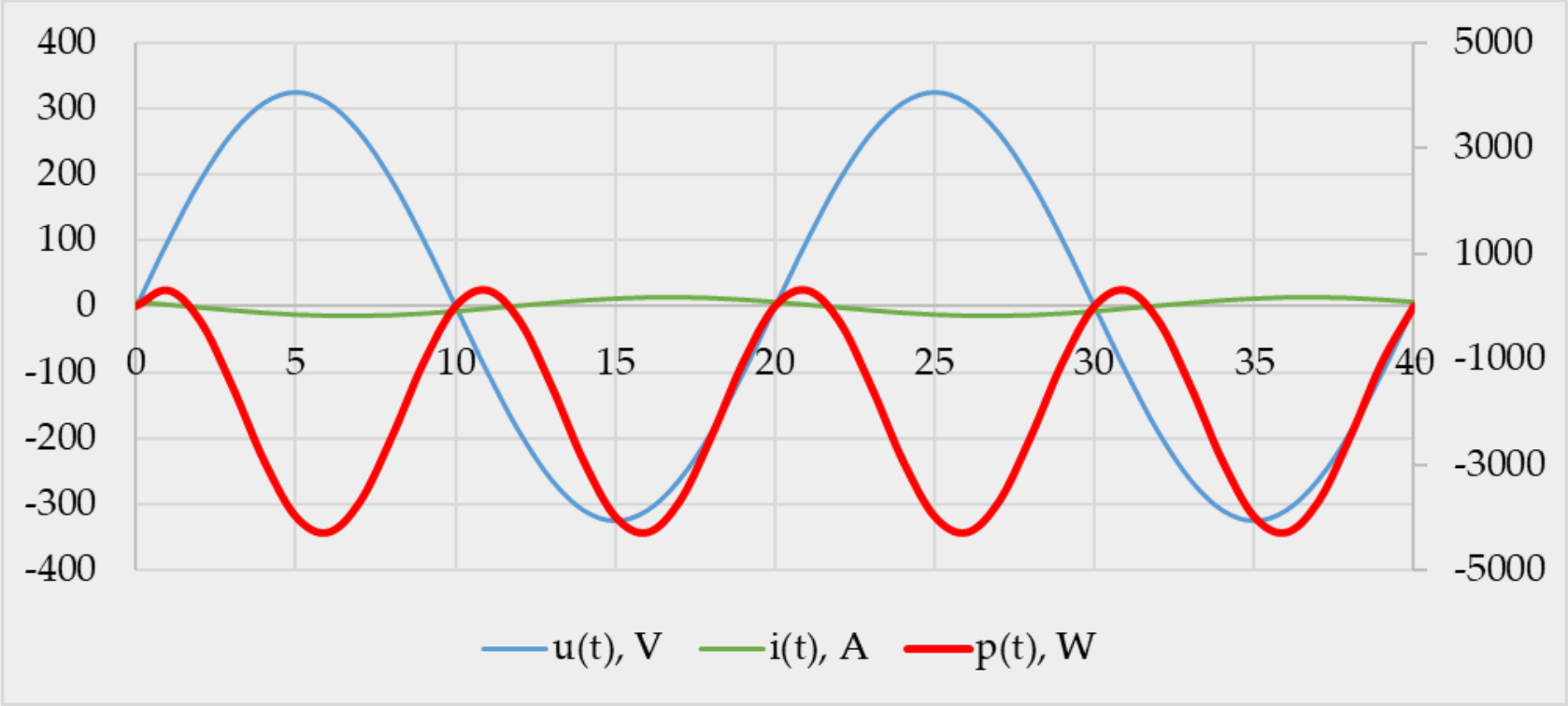
S	2,3	kVA
P	-2	kW
Q	1,2	kvar



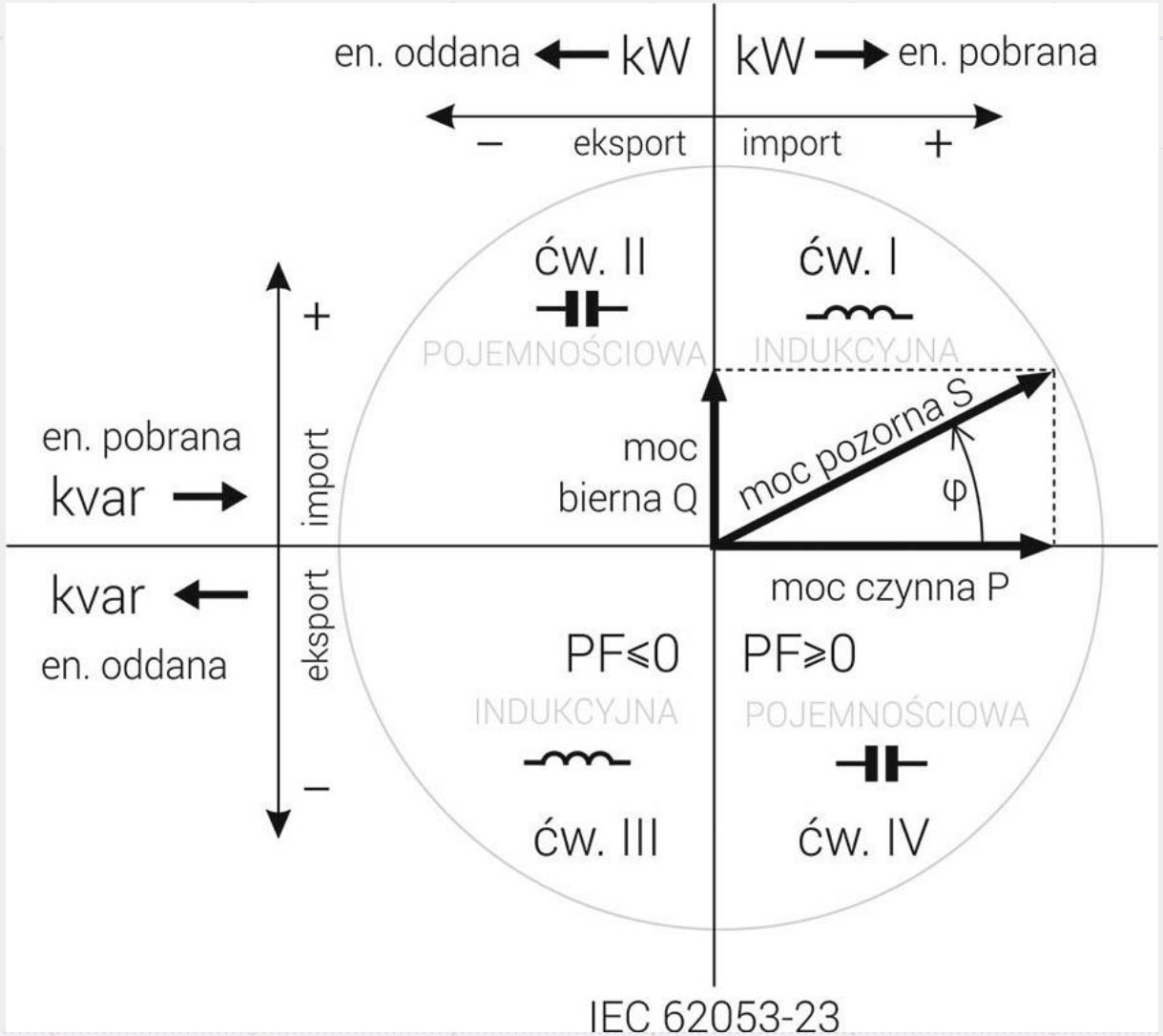
Moc bierna ma swój charakter

φ=-150°, cos φ = -0,87, tg φ = 0,58

S	2,3	kVA
P	-2	kW
Q	-1,2	kvar

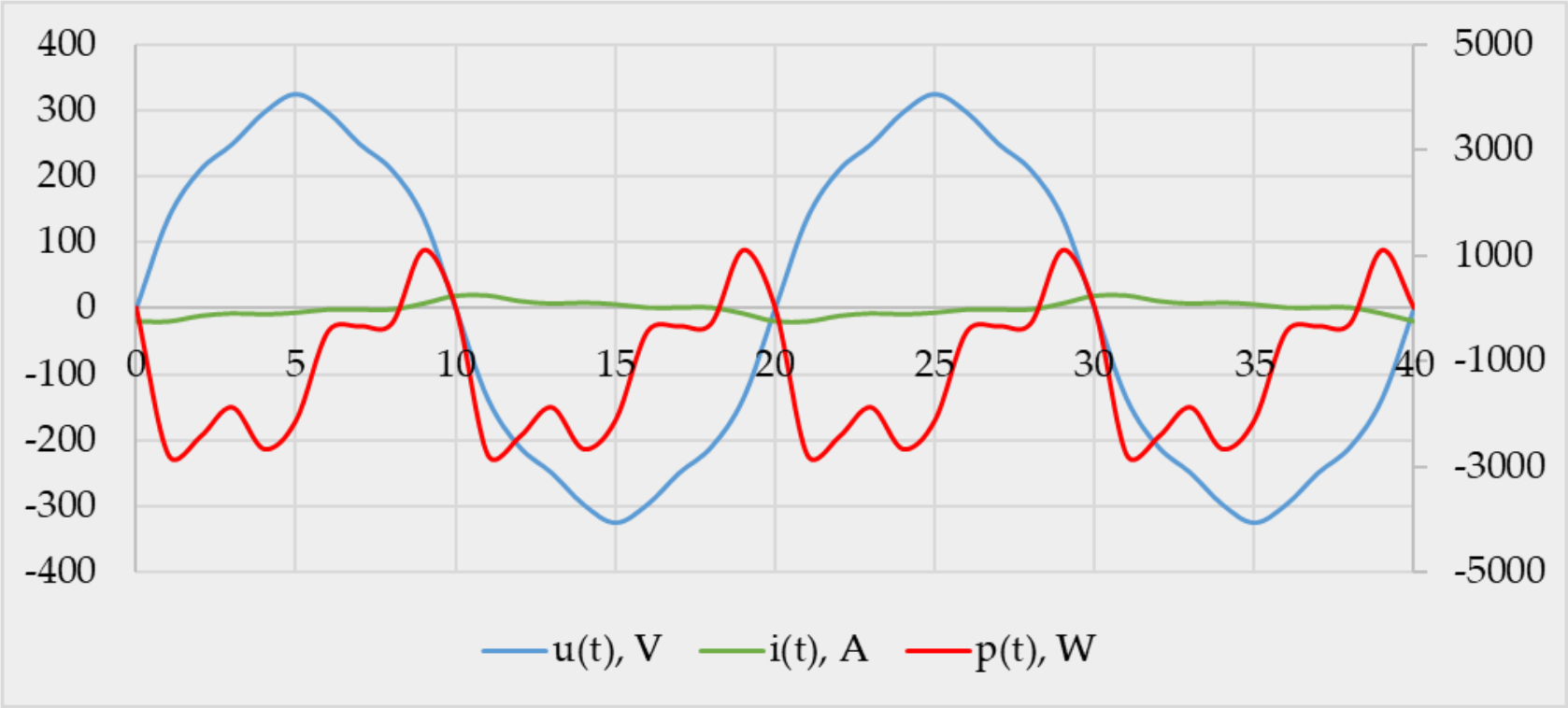


Moc bierna ma swój charakter



IEC 62053-23

Moc bierna ma swój charakter



Ile kosztuje „przesył” mocy biernej?

Straty w przewodach i transformatorach

Większe prądy całkowite w liniach i transformatorach → **straty I^2R**.

Straty te trzeba pokryć dodatkową mocą czynną z KSE → koszt energii czynnej dla operatora.

Ograniczenie zdolności przesyłowej sieci

Sieć ma określoną **obciążalność prądową**. Część tej „przepustowości” zajmuje prąd bierny → mniej miejsca dla mocy czynnej (pracy użytecznej).

Ile kosztuje „przesył” mocy biernej?

Straty i ograniczenia w transformatorach

Transformator musi przenieść prąd odpowiadający mocy pozornej

$S = \sqrt{(P^2+Q^2)}$. Większe Q → większe straty ”w miedzi”, nagrzewanie uzwojeń, przyspieszone starzenie izolacji.

Koszty urządzeń do regulacji i kompensacji mocy biernej

baterie kondensatorów i dławików,

SVC / STATCOM (regulowane kompensatory statyczne),

kompensatory synchroniczne, transformatory zaczepowe (on-load tap changers, OLTC).

Koszty eksploatacyjne i serwisowe tych urządzeń wchodzą w budżet OSP/OSD (np. PSE kupuje usługę „pracy kompensatorowej” od właścicieli kompensatorów synchronicznych).

Ile kosztuje „przesył” mocy biernej?

Koszty sterowania i automatyki

Systemy **ARNE (Automatyczna Regulacja Napięcia i Mocy Biernej)**, ARST (regulacja transformatorów), oprogramowanie SCADA/EMS – służą do sterowania i bilansowania Q.

Koszty pomiarów i rozliczeń

Liczniki czterokwadrantowe. OSD/OSP (OIRE) ponoszą koszt obsługi danych pomiarowych i systemów bilingowych.

Ile kosztuje „przesył” mocy biernej?

Koszty utraconej jakości energii

Nadmierne przepływy Q powodują **odchyłki napięcia** u odbiorców.

(awarie i skrócenie żywotności urządzeń, kary/roszczenia od odbiorców za niedotrzymanie parametrów jakości energii).

Koszty systemowe (OSP/OSD)

OSP (PSE) płaci za usługi systemowe: ARNE, praca kompensatorowa (np. synchronicznych kompensatorów).

(Finansowane z opłaty jakościowej w taryfie przesyłowej).

Ile kosztuje energia bierna w Europie?

ENTSO-E

Overview of Transmission Tariffs in Europe: Synthesis 2023

Kraje, w których brak opłat (16): Albania, Austria, Bośnia i Hercegowina, Cypr, Czechy, Dania, Wielka Brytania, Grecja, Węgry, Luksemburg, Holandia, Słowacja, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Ukraina

Ile kosztuje energia bierna w Europie?

Kraje, w których występują taryfy (16): Belgia, Chorwacja, Estonia, Francja, Niemcy, Irlandia, Włochy, Łotwa, Litwa, Czarnogóra, Macedonia, Irlandia Północna, Norwegia, Portugalia, Serbia, Szwajcaria

Kraje, w których występują kary (17): Bułgaria, Chorwacja, Finlandia, Francja, Niemcy, Islandia, Irlandia, Włochy, Litwa, Czarnogóra, Macedonia, Irlandia Północna, Polska, Portugalia, Serbia, Hiszpania, Szwajcaria

Ile kosztuje energia bierna w Europie?

Państwo	Stawki €/Mvarh
Chorwacja	21,236 €/Mvarh (taryfa)
Francja	10,99 (pobór), 0,96 (oddawanie); OSD: 3,25 / 0,57
Niemcy	do 9,20 €/Mvarh (kara)
Irlandia	0,33 €/Mvarh (kara)
Włochy	0–1,44 €/Mvarhh (+lokalne dopłaty do 0,56)
Litwa	2,64 €/Mvarh (pobór), 5,28 €/Mvarh (oddawanie)
Czarnogóra	10,484 €/Mvarh (LT), 5,242 €/Mvarh (HT)
Macedonia Północna	1,98 €/Mvarh (kara)
Irlandia Północna	0,334 €/Mvarh (kara)
Portugalia	0,462 / 1,4 / 4,2 €/Mvarh (zależnie od tgϕ)
Serbia	2,4403 (cosϕ ≥ 0,95), 4,8806 (cosϕ < 0,95)
Łotwa	2,64 (pobór), 5,28 (generacja) €/Mvarh

Ile kosztuje energia bierna w Europie?

Państwo	Metoda	Szacunkowy koszt [€/Mvarh]	Uwaga
Polska – WN	k·C_rk (k=0,5; C_rk – średnia cena energii z URE)	≈ 89,2	379,65 PLN/Mvarh
Polska – SN	k·C_rk (k=1)	≈ 178,5	759,29 PLN/Mvarh
Polska – nN	k·C_rk (k=3)	≈ 535,6	2 277,87 PLN/Mvarh
Norwegia	opłata „pojemnościowa" za MVAr (NOK 40/kVAr·rok)	≈ 0,39	przeliczone: 40 000 NOK/Mvar·rok ÷ 8 760 h
Rumunia	30% szac. ceny energii na pokrycie strat OSP → stawka wynikowa	≈ 47,03	w raporcie ENTSO-E podana już jako €/Mvarh
Bułgaria	mechanizm karny / formuły powiązane z cosϕ (brak jawnego €/MVArh u OSP)	–	brak jednolitej stawki publicznej; zależy od operatora/umowy
Islandia	dopłaty/korekty taryfowe (Landsnet); brak stałej ceny €/MVArh	–	publiczne dokumenty nie podają stałej €/Mvarh; rozliczenia wg zasad taryfowych

Dziękuję

marcin.fice@polsl.pl

prezes@sep.gliwice.pl

www.sep.gliwice.pl