

TEORIA ZESPOLONEGO PĘDU W FAZOWEJ CZASOPRZESTRZENI.

Jarosław Grabiec, Piotrków Trybunalski, Poland

Wprowadzenie pojęć fizycznych: *trójkąt mocy orbitalnej (TMO)*,
trójkąt impedancji orbitalnej (TIO),
współczynnik zestrojenia orbitalnego (WZO)

Streszczenie.

Opracowanie wprowadza w skali makroskopowej zespoloną postać pędu mechanicznego p_z , która ujawnia dualną naturę pędu oraz uwydatnia jego wektorową fazę ruchu $\psi(t)$ w czasoprzestrzeni. Analiza podkreślając znaczenie kanału urojonego Im opisuje zjawisko indukcji grawitodynamicznej odpowiedzialne w czasoprzestrzeni za powstawanie przesunięcia fazowego pomiędzy dywergencją a rotacją. Łącząc prawa Keplera i Newtona w jeden hybrydowy mechanizm oferuje praktyczne matematyczne narzędzia stosowane od lat w teorii obwodów prądu przemiennego akcentując przy tym zjawiska falowe. Metoda impedancyjna pozwala głębiej zrozumieć dynamiczną zależność między jednoczesnym pędem radialnym (translacyjnym) i transwersalnym (rotacyjnym). Formalizm respektując zasadę zachowania pozwala dostrzec generowanie oraz kumulowanie w czasoprzestrzeni energii reaktywnej Ω_R rozumianej jako oscylacyjną energię sprężystości układów związanych grawitacyjnie.

Analiza w układzie nieinercyjnym wyjaśnia astrofizyczny mechanizm energetyczny widziany od jego wnętrza. Zastąpienie tradycyjnej metody bilansowania stanu energii $E_p + E_k = const.$ pogłębioną analizą chwilowej mocy orbitalnej S_{or} operującej na przyrostach skupia uwagę Czytelnika na indukcyjnym efekcie Coriolisa jako splątanym mechanizmie sprzężenia między kanałem energetycznym aktywnym Ω_A i reaktywnym Ω_R . Podział na reaktancje kanałowe $+X_r^{(B)}, +X_\theta^{(B)}$ oraz $-X_r^{(S)}, -X_\theta^{(S)}$ tłumaczy zjawiska pulsacji orbitalnych mocy P_{or} i Q_{or} na wykresie czterokwadrantowym dekomponując przetwarzaną moc S_{or} na składowe niesione przez bezwładność $+P_r^{(B)}, +Q_\theta^{(B)}$ i sprężystość $-P_r^{(S)}, -Q_\theta^{(S)}$. Analiza wykazuje, że energia potencjalna grawitacji E_p ulega nie tylko klasycznej konwersji na energię kinetyczną E_k , lecz wskutek indukcyjnego sprzężenia kanałów może być okresowo magazynowana w kanale reaktywnym Im jako energia sprężystości skrętnej związana z odkształceniami geometrii układu.

Podójście takie wynika z *ortogonalności w przestrzeni oraz fazowości w czasie* niezależnych strumieni mocy mechanicznych $\sum P_{or} = (P_r^{(B)} - P_r^{(S)})$ i $\sum Q_{or} = (Q_\theta^{(B)} - Q_\theta^{(S)})$ wyodrębnionych kanałów energetycznych. Podkreśla to dualny charakter pędu kinetycznego jako wielkości wektorowej opisywanej na płaszczyźnie liczb zespolonych, stanowiącej geometryczną sumę składowej aktywnej i reaktywnej:

$$p_{zespolony} = p_{Aktywny} + i p_{Reaktywny} = p_{radialny} + i p_{transwersalny}$$

$$p_z = p_A + i p_R = m v_r + i m v_\theta$$

$$m v_z = m(v_r + i v_\theta) = m(\dot{r} + i r \dot{\theta})$$

W klasycznej metodzie naukowej w skali makroskopowej pęd jest przedstawiany ogólnie jako wektorowa wielkość rzeczywista $p = mv$. Pęd rotacyjny traktuje się osobno jako iloczyn skalarny pędu orbitalnego i promienia (moment pędu wyrażany jako pseudowektor). Taka analiza nie mówi co dzieje się z fazą między $v_r(t)$ i $v_\theta(t)$ w stanie nieustalonym, gdy zmienia się w układzie geometria. Tradycyjne rachunki tracą więc informację o przesunięciu fazowym oraz przepływie energii orbitalnej Ω_{or} z określoną mocą mechaniczną S_{or} .

1. Wprowadzenie.

W niniejszej pracy rozpatrywany jest eliptyczny ruch satelity o masie m w układzie nieinercjalnym płaszczyzny orbitalnej w bazie (r, θ) z rozdzieleniem kanałów energetycznych na aktywny Ω_A (radialny) i reaktywny Ω_R (transwersalny). Zwrot dodatni osi radialnej (*Re:*) jest skierowany na zewnątrz ($+r$), natomiast zwrot dodatni osi prostopadłej (*Im:*) jest zgodny z ruchem przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (CCW), tj. w kierunku rosnącego θ ($+\theta$).

Analiza w bazie zespolonej dotyczy stanu nieustalonego, w którym układ zmienia parametry geometryczne w czasoprzestrzeni. Alizie podlega strzałka mocy orbitalnej S_{or} podczas gdy wektory prędkości, przyspieszeń i sił kanałowych zmieniają zarówno wartość jak i kierunek w czasie. Jest to zatem odejście od bilansu stanu posiadania energii kinetycznej E_k i potencjalnej E_p oraz zastąpienie analizą przepływu mocy orbitalnej translacyjnej i rotacyjnej. Kluczowym zagadnieniem jest wewnętrzne indukcyjne sprzężenie dwóch stopni swobody ruchu w czasoprzestrzeni między składową radialną i transwersalną poprzez operator Coriolisa.

1.1 Prędkość transwersalna a tangencjalna – istotne rozróżnienie.

Znane twierdzenie o wiriale określa, że dla układu związanego na stabilnej orbicie średnia wartość energii kinetycznej jest równa połowie wartości bezwzględnej średniej energii potencjalnej:

$$E_k = -\frac{1}{2}E_p$$

Stabilna orbita nie jest nigdy kołowa - w rzeczywistości zawsze jest eliptyczna. Ponieważ twierdzenie to odnosi się wyłącznie do wartości średnich, nie wydobywa głębszych zależności matematycznych. W tradycyjnym podejściu nawet niewielka ekscentryczność powoduje okresowe wahania energii kinetycznej i potencjalnej, co przejawia się jako periodyczna zamiana tych energii u obydwu ciał.

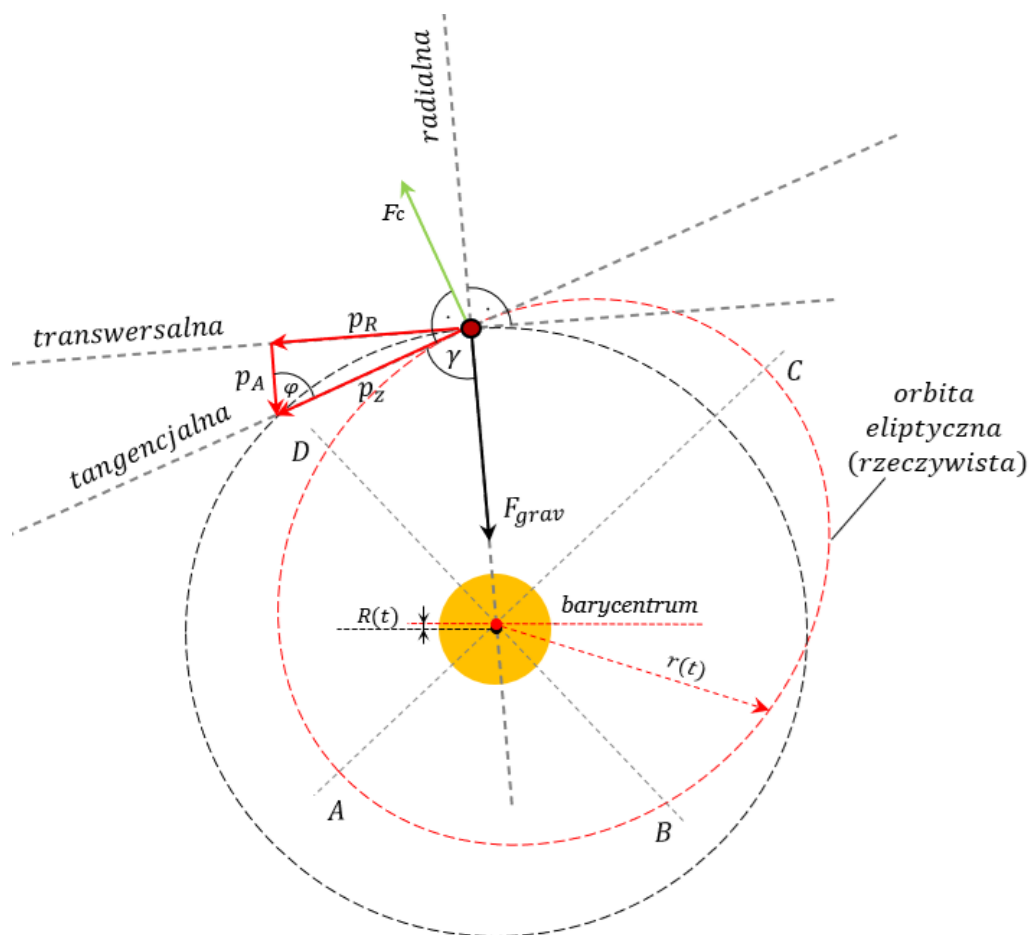
W proponowanym formalizmie kluczowe znaczenie ma precyzyjne rozróżnienie składowych prędkości orbitalnych:

- *prędkość tangencjalna* v_{or} - prędkość orbitalna całkowita - styczna do toru ruchu ciała (elipsy) w punkcie analizy nazywana dalej prędkością zespoloną $v_{or} = v_z$
- *prędkość transversalna* v_θ - prostopadła do promienia wodzącego r
- *prędkość radialna* v_r - wzdłuż promienia wodzącego r

Jedynie w idealnej orbicie kołowej prędkości v_{or} i v_θ są tożsame. O ile prędkość tangencjalna v_{or} jest wartością, którą obserwator widzi jawnie jako parametr budujący całkowity pęd niosący całą energię kinetyczną na orbicie, o tyle prędkość transversalna v_θ jest pulsującą wielkością budującą chwilowy moment pędu gromadzący wyłącznie energię reaktywną Ω_R (rotacji). Na rzeczywistej orbicie eliptycznej obie te wielkości różnią się zarówno co do wartości, jak i kierunku. Wektory prędkości tangencjalnej $v_{or} = v_z$ oraz radialnej v_r tworzą w czasoprzestrzeni zmienny kąt γ zależny od położenia na elipsie i stopnia ekscentryczności co obrazuje Rys.1.1 prowadzący do zależności:

$$|v_z|^2 = v_r^2 + v_\theta^2$$

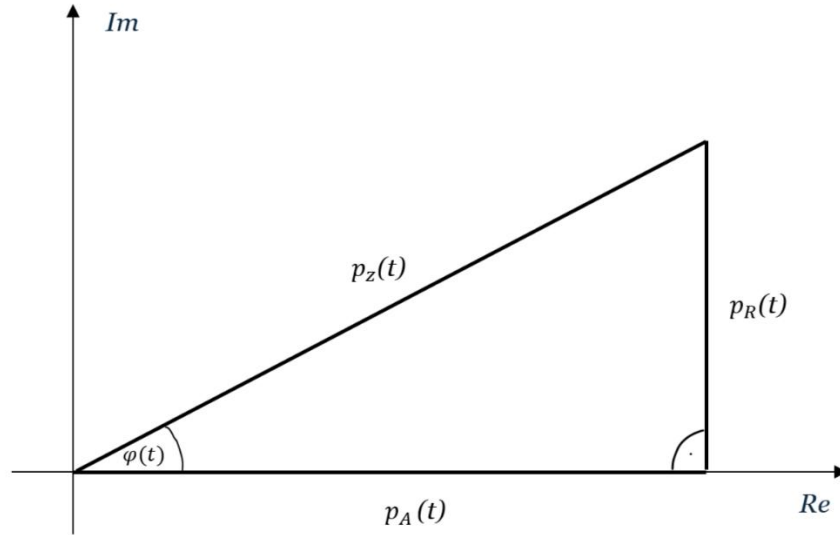
$$v_z = v_{or} = v_r + i v_\theta$$



Rys.1.2. Trójkąt pędu zespolonego

Ruch na orbicie eliptycznej powoduje zatem okresowe przetwarzanie dwóch rodzajów energii kanałowych i wzajemną pulsację dwóch rodzajów mocy mechanicznej: *aktywnej* $P_{or}(t)$ związanej z przyspieszeniami radialnymi i *reaktywnej* $Q_{or}(t)$ związanej z przyspieszeniami transwersalnymi. Prostopadłość w czasoprzestrzeni wektora prędkości transwersalnej v_θ do promienia r oznacza, że grawitacja nie wykonuje nad reaktywnym kanałem Ω_R w trakcie cyklu żadnej pracy. Klasyczne podejście naukowe powiedziałoby w tym miejscu o składowej „pozornej” siły jedynie zakrzywiającej trajektorię ruchu, gdzie praca użyteczna jest zerowa. Energia Ω_R przetwarzana z upływem czasu wewnątrz grawitacyjnego układu ciał jest tylko cyklicznie pożyczana i oddawana do źródła pola a zatem jedynie pulsacyjnie krąży ze zmienną mocą mechaniczną reaktywną $Q_{or}(t)$ i jej średnia wartość za cały okres T_{or} wynosi zero. Stanowi to analogię do mocy biernej Q w układach prądu przemiennego, która pulsuje między źródłem i odbiornikiem z podwojoną częstotliwością nie wykonując realnej pracy. Takie rozróżnienie daje podstawy do przeniesienia na mechanikę orbitalną aparatu matematycznego z teorii elektrotechniki AC gdzie standardowo wydziela się moc czynną P , bierną Q i pozorną S

sumowanych geometrycznie. Podobieństwo to umożliwia wprowadzenie analizy opartej nie na uśrednionych bilansach energii kinetycznej/potencjalnej, lecz na chwilowych przyrostach i poziomach mocy orbitalnych, które odsłaniają głębsze zależności i jedność praw fizyki w różnych skalach. Trójkąt pędu zespolonego możemy zatem przedstawić na płaszczyźnie zespolonej według Rys.1.3.



Rys.1.3. Trójkąt pędu na płaszczyźnie zespolonej.

2. Równanie falowe sprzężenia orbitalnego.

W fizyce klasycznej dla różniczkowej formy II zasady dynamiki Newtona określa się, że pochodna pędu po czasie równa jest sile wypadkowej działającej na to ciało:

$$\frac{dp}{dt} = F$$

W proponowanym ujęciu zespolonym przy założeniu stałości masy w czasie, różniczkowanie zupełne wektora pędu zespolonego ∂p_z w układzie nieinercyjnym prowadzi do naturalnego wyłonienia dynamicznych sił w kanale radialnym Ω_A (aktywnym) oraz oddziaływań operujących w ortogonalnym kanale transwersalnym Ω_R (reaktywnym). Działanie to przedstawia wzór poniżej:

$$\partial p_z = \frac{\partial p_z}{\partial r} dr + \frac{\partial p_z}{\partial \theta} d\theta + \frac{\partial p_z}{\partial t} dt = \Sigma F_r + i \Sigma F_\theta$$

Jak zostanie wykazane w dalszej części, rozpad równania p_z po zróżniczkowaniu ujawnia w kanale reaktywnym Ω_R oddziaływanie siły Eulera aktywującej się wraz z przyspieszeniami kątowymi oraz w szczególności ukazuje wzajemne sprzężenie obydwu kanałów $\Omega_A \Leftrightarrow \Omega_R$ operatorem Coriolisa.

Przeprowadzając matematyczny wywód rozpoczynamy od rozłożenia orbitalnej prędkości tangencjalnej $v_z = v_{or}$ w bazie polarnej wg. Rys.1.1 na prędkość radialną i transwersalną $v_{or}^2 = v_r^2 + v_\theta^2$ oraz przedstawienia jej w postaci zespolonej:

$$v_z = v_r + i v_\theta \quad [0]$$

Mnożąc obie strony równania przez masę otrzymujemy pęd zespolony:

$$p_z = m v_z = m v_r + i m v_\theta$$

Z definicji, dla dowolnego wektora zespolonego $\vec{A}$ jego pochodna w układzie wirującym (nieinercjalnym) przedstawiana jest jako przekształcenie Leibniza uwzględniające transformację kinematyczną układu współrzędnych:

$$\frac{d}{dt} \vec{A} = \left(\frac{dA}{dt} + i \omega A \right)$$

Zatem różniczkując pęd zespolony otrzymujemy zespoloną siłę:

$$\frac{d}{dt} \vec{p}_z = \left(\frac{dp_z}{dt} + i \omega p_z \right)$$

$$F_z = \frac{dp_z}{dt} + i \omega p_z$$

Podstawiamy składniki pędu zespolonego:

$$F_z = \frac{d}{dt} (m v_r + i m v_\theta) + i \omega (m v_r + i m v_\theta)$$

Rozmnażając nawiasy otrzymujemy:

$$F_z = \left(m \frac{dv_r}{dt} + i m \frac{dv_\theta}{dt} \right) + i \omega m v_r + i^2 \omega m v_\theta$$

Przyporządkowując siły do odpowiednich kanałów i pamiętając, że $i^2 = -1$ mamy:

$$F_z = \underbrace{\left(m \frac{dv_r}{dt} - m \omega v_\theta \right)}_{Re: \text{kanal } \Omega_A} + i \underbrace{\left(m \frac{dv_\theta}{dt} + m \omega v_r \right)}_{Im: \text{kanal } \Omega_R}$$

Podstawiamy według notacji składniki: $v_\theta = \omega r$ oraz $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, gdzie $v_\theta = r \frac{d\theta}{dt}$

Dla kanału aktywnego Ω_A przy założeniu, że $\frac{dv_r}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}$ siły radialne wyniosą:

$$\Sigma F_r = \left(m \frac{dv_r}{dt} - m \frac{d\theta}{dt} r \frac{d\theta}{dt} \right) = m \frac{d^2 r}{dt^2} - m r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = m \left(\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right)$$

Dla kanału reaktywnego Ω_R różniczkujemy zupełnie $v_\theta = r \frac{d\theta}{dt}$ jako iloczyn funkcji r i θ :

$$\frac{dv_\theta}{dt} = \frac{d}{dt} \left(r \frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Grupując składniki kanału reaktywnego Ω_R otrzymujemy:

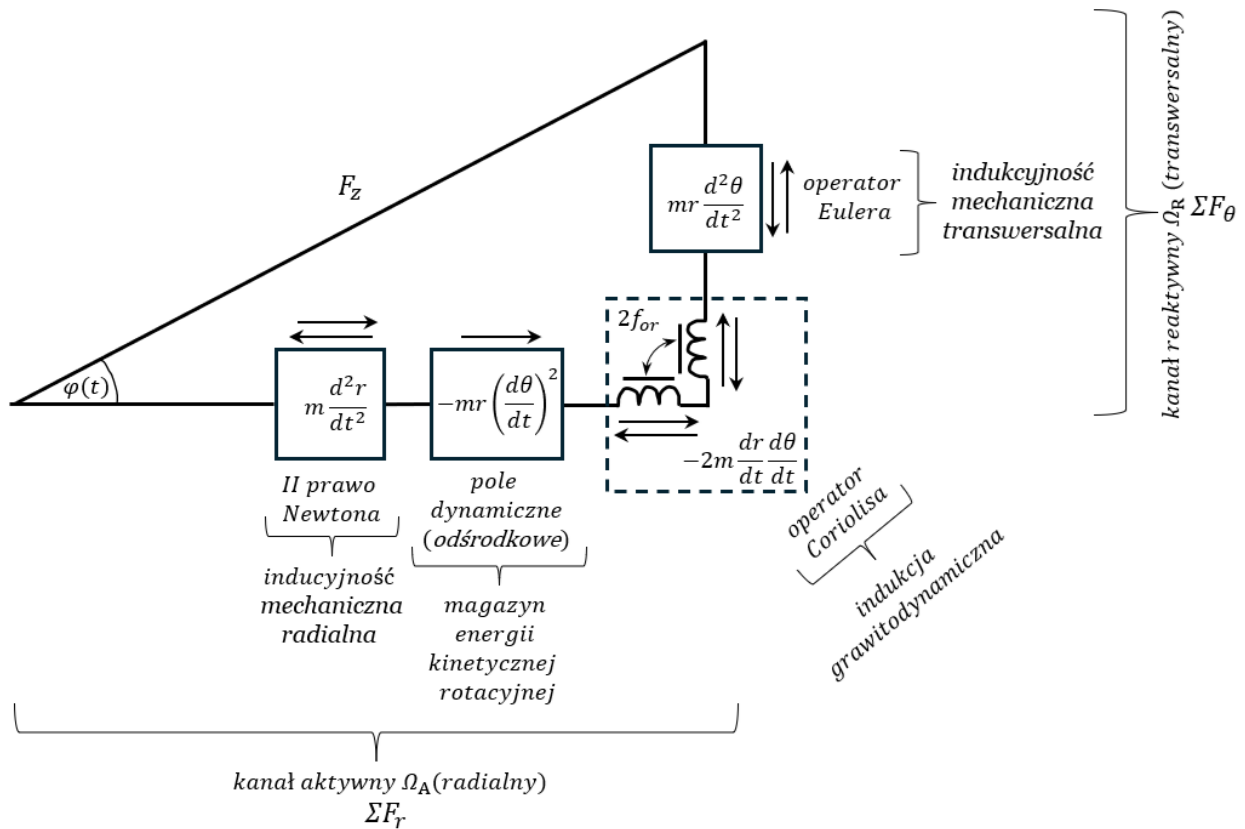
$$\Sigma F_\theta = m \left(\frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) + m \left(\frac{d\theta}{dt} \frac{dr}{dt} \right) = mr \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} = m \left(r \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} \right)$$

Ostatecznie po ponownym zintegrowaniu części rzeczywistej i urojonej w układzie wirującym sprzężonym równanie przyjmie postać:

$$F_z = \Sigma F_r + i \Sigma F_\theta = \underbrace{m \left(\frac{d^2r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right)}_{Re: \Omega_A, \Sigma F_r} + i \underbrace{m \left(r \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} \right)}_{Im: \Omega_R, \Sigma F_\theta} \quad [2]$$

$$F_z = \begin{bmatrix} \Sigma F_r(t) \\ \Sigma F_\theta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m \frac{d^2r}{dt^2} \\ mr \frac{d^2\theta}{dt^2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -mr \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \\ 2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} \end{bmatrix}$$

Powyższy wzór (alternatywnie macierz) możemy przedstawić w formie graficznej zobrazowanej na Rys.2. Ukazuje on dwa odrębne kanały energetyczne Ω_A i Ω_R zawierające siły bezwładności radialne ΣF_r oraz transwersalne ΣF_θ . Pomimo, że kanały są ortogonalne to jednak pozostają głęboko współzależne i powiązane pętlą sprzężenia zwrotnego o modulowanej wartości - co omówione zostanie w dalszej części pracy.



Rys.2. Trójkąt falowy dynamicznych sił kanałowych.

3. Indukcja grawitodynamiczna.

Wyprowadzony wzór [2] siły zespolonej F_z jest równaniem falowym dynamicznego sprzężenia obiektów związanych grawitacyjnie w fazowej czasoprzestrzeni 2D. Wzór ten w dalszej części opracowania posłuży również do wyprowadzenia zależności na węzły i strzałki stojącej *fali grawitodynamicznej* przewidującej w przestrzeni stabilne korytarze orbitalne. Strukturalnie równanie to odpowiada klasycznej zależności oscylacyjnego ruchu dla układu drgającego jednak tu z dekompozycją na ortogonalne kanały energetyczne (Ω_A, Ω_R). Uwzględniając w równaniu znaki (+/-) dla przyspieszeń kanałowych między punktami A/B/C/D wg. Rys.3 otrzymamy obraz rzeczywistej falowej interakcji kanałowej sił dla zjawiska *grawitodynamizmu*.

W obydwu kanałach energetycznych (Ω_A, Ω_R) zachodzą następujące zależności:

- rolę impedancji Z_{or} (niechęci do zmian geometrii) dla przyspieszającego ruchu układu pełni masa m ,
- rolę magazynu energii kinetycznej Ω_{or} (translacyjnej i rotacyjnej) dla opóźniającego ruchu układu również pełni masa m ,

- rolę „sprężyny” o odwróconej charakterystyce pełni nieliniowe pole grawitacyjne $G \frac{Mm}{(R+r)^2}$ (jego oddziaływanie słabnie wraz z rozciągnięciem dystansu $(R+r)$ między M oraz m),
 - funkcję radialnej bezwładności mechanicznej w kanale aktywnym (inercja translacyjna) pełni II prawo Newtona $m \frac{d^2 r}{dt^2}$,
 - funkcję transwersalnej bezwładności mechanicznej w kanale reaktywnym (inercja rotacyjna) pełni operator Eulera $mr \frac{d^2 \theta}{dt^2}$,
 - *indukcja grawitodynamiczna* - zachodzi dzięki operatorowi Coriolisa $-2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt}$ a współczynnik „2” stojący przy wzorze wynika bezpośrednio z geometrycznej dekompozycji operatora obrotu Leibniza na płaszczyźnie zespolonej. Reprezentuje on złożenie dwóch niezależnych zjawisk zachodzących jednocześnie na orbicie:
 - *indukcję rotacji* - czyli obrotu w czasoprzestrzeni wektora pędu p_z dla $\frac{d\theta}{dt} \neq 0$ przy założeniu stałego promienia obrotu gdy $\frac{dr}{dt} = 0$,
 - *indukcję transformacji* - czyli zmiany w czasoprzestrzeni promienia w strukturze pędu transwersalnego $\frac{dr}{dt} \neq 0$ przy założeniu stałej prędkości kątowej rotacji $\frac{d\theta}{dt} = \text{const}$ dla obrotu wektora p_z .
- Operator Coriolisa działa jak ortogonalne sprzężenie zwrotne mocy a jego ostateczna funkcja energetyczna (akceleracja/deceleracja) wynika matematycznie ze znaków (+/-) członów prędkości $\frac{dr}{dt}$ i $r \frac{d\theta}{dt}$ jak również znaków (+/-) przyspieszeń kanałowych $\frac{d^2 r}{dt^2}$ i $r \frac{d^2 \theta}{dt^2}$ dla mechanicznych mocy kanałowych.
- Wszelkie perturbacje radialne powodujące wychylenie satelity (planety) z zajmowanego slotu orbitalnego (gdy $v_r \neq 0$) są przez operator Coriolisa natychmiast transformowane na ortogonalny kanał transwersalny Ω_R . Wywołuje to jednoczesną zmianę prędkości kątowej obiektu modyfikując w tym czasie siłę odśrodkową $mr \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$, gdzie prędkość radialna ulega możliwie największemu wygaszeniu ($v_r \rightarrow 0$). Jest to wysoce uwikłany i samoadaptacyjny proces fizyczny, gdzie bez obecności operatora Coriolisa struktura orbity byłaby nietrwała a układy planetarne ulegałyby szybkiej destabilizacji chaotycznej.
- ciało centralne M posiada w zagnieźdzeniu własny trójkąt dynamiczny oraz własne równanie falowe.

Przekształcenia matematyczne wyprowadzające równanie [2] wiodą do sformułowania prawa *indukcji grawitodynamicznej*, która brzmi:

„W barycentrycznym układzie wirującym ciał związanych grawitacyjnie każda zmiana pędu radialnego $m \frac{dr}{dt}$ (lub transversalnego $m r \frac{d\theta}{dt}$) indukuje sprzężoną odpowiedź operatora Coriolisa $-2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt}$, którego składowe siły radialna i transversalna działają zawsze w taki sposób, aby przeciwdziałać przyczynie pierwotnej, redystrybuując w tym czasie energię między ortogonalnymi kanałami energetycznymi - aktywnym Ω_A a reaktywnym Ω_R ”.

$$\nabla \cdot p_A \propto - \frac{\partial(\nabla \times p_R)}{\partial t}$$

$$\nabla \times p_R \propto + \frac{\partial(\nabla \cdot p_A)}{\partial t}$$

Zachowanie operatora Coriolisa $-2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt}$ ze znakiem (-) dla mechaniki orbitalnej wynika z inspiracji prawami elektromagnetyzmu. Wykazuje on charakterystyczną regułę przekory, gdzie każdej zmianie pędu w jednym kanale towarzyszy indukcyjna odpowiedź w kanale ortogonalnym przeciwdziałająca przyczynie naruszającej pierwotną geometrię. Zjawisko to w pełni wynikające z zasady zachowania energii i kinematyki układu nieinercjalnego, zasługuje na wyeksponowanie jako lokalna zasada sprzężenia energetycznego dla *grawitodynamizmu*.

Prawo to mówi zatem, że dla każdej orbity rzeczywistej zachodzi falowy, ortogonalny przepływ mocy orbitalnej między ekspansją/kontrakcją i rotacją. Oznacza to również, że w stanie nieustalonym (każda orbita) prędkość radialna i transversalna nie jest stała a ciało podlega w kanałach cyklicznemu przyspieszaniu lub hamowaniu - brak tam ruchu jednostajnego. Wyjątkiem są dwa miejsca reprezentujące węzły grawitacyjne fali znajdujące się dla każdej orbity w jej apocentrum i perycentrum gdzie siły (a zatem i przyspieszenia) są krótkotrwale wygaszone.

Przedstawmy równanie falowe [2] w wygodniejszej równoważnej postaci:

$$F_z = \sum F_r + i \sum F_\theta = \underbrace{m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)}_{\Omega_A: \sum F_r} + i \underbrace{m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}_{\Omega_R: \sum F_\theta} \quad [3]$$

Możemy przedstawić je również w formie wykładniczej obliczając argument oraz moduł. Argument wyrazimy jako:

$$\varphi = \arctg \frac{r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}}{\ddot{r} - r\dot{\theta}^2}$$

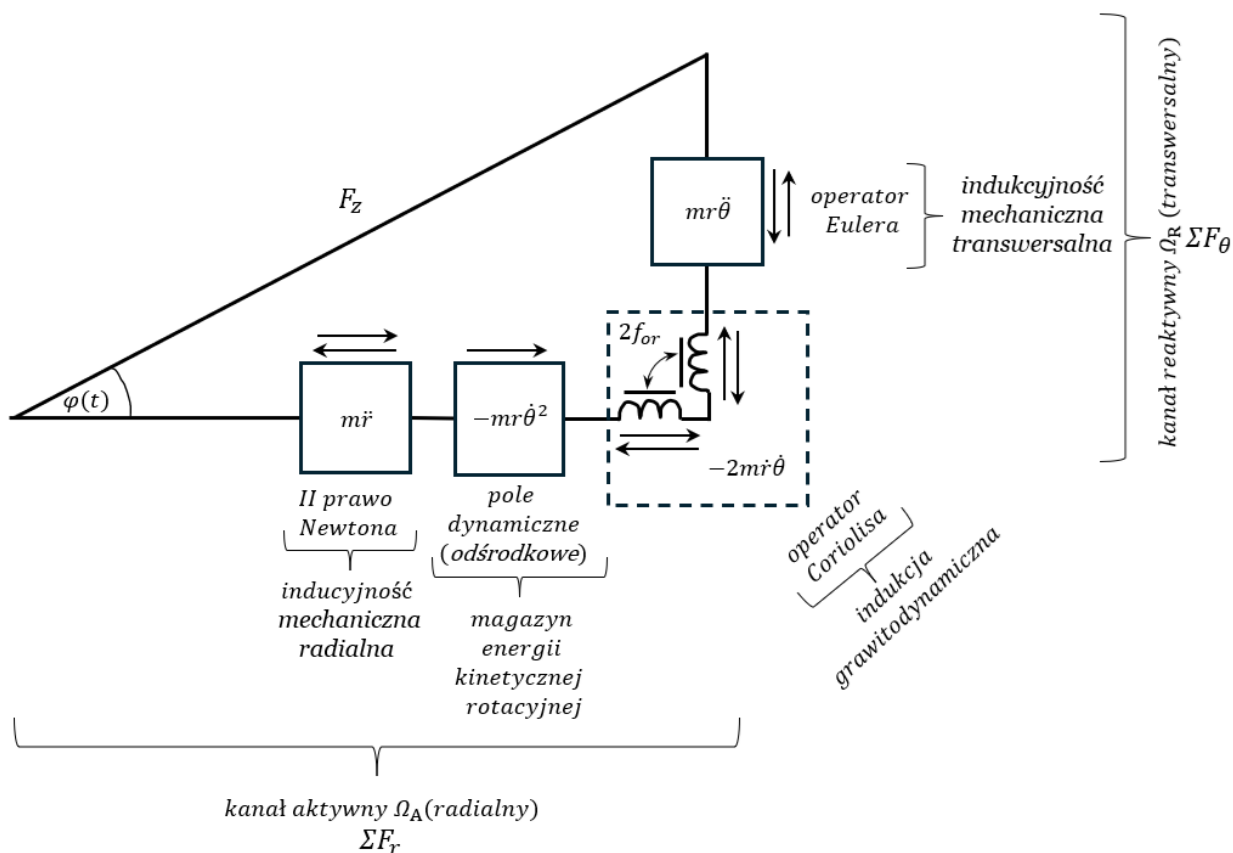
Moduł opiszemy wyrażeniem:

$$|F_z| = \sqrt{(\Sigma F_r)^2 + (\Sigma F_\theta)^2} = \sqrt{(m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2))^2 + (m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}))^2}$$

Zatem postać wykładniczą wyrazimy następująco:

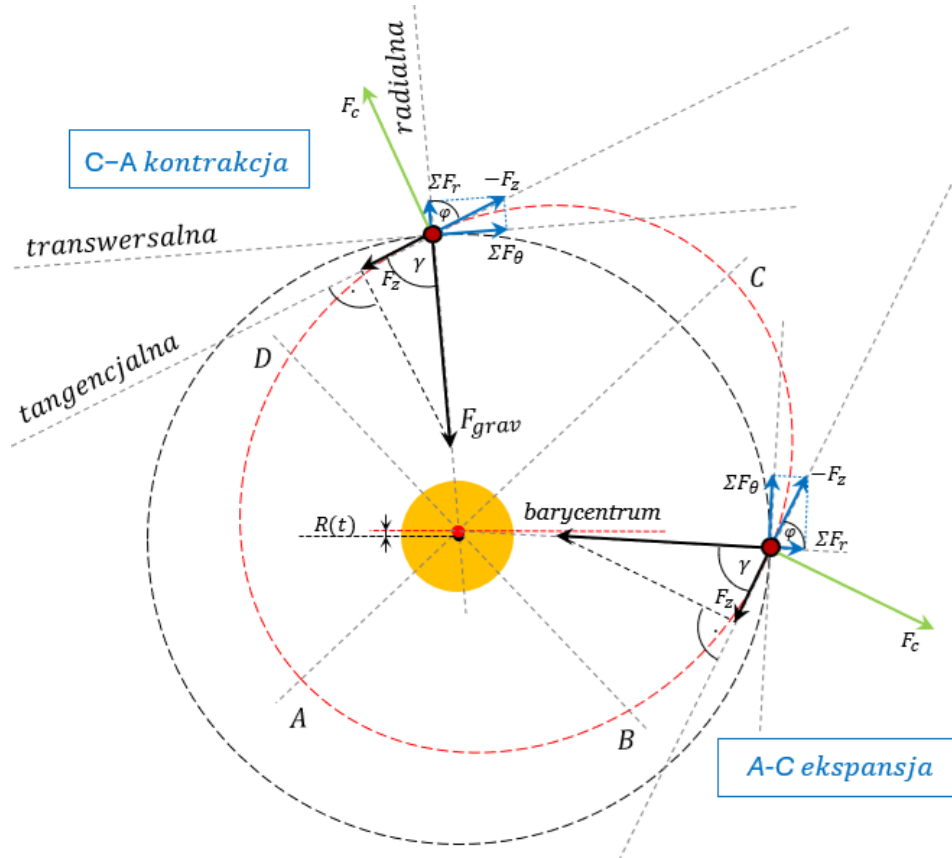
$$F_z = |F_z|e^{i\varphi}$$

Zależności opisane równaniem [3] zostały pokazane na Rys.3. Jest to trójkąt falowy sił sprzężonych fazowo reprezentujący równania różniczkowe w kanałach energetycznych. Reakcja wypadkowa F_z wiąże w całość zależności sił cząstkowych w czasie ruchu. Jak zostanie dowiedzione w dalszej części opracowania - bilans sił kanałowych nie jest wyłącznym kryterium oceny dynamizmu zachodzącego w strukturze układu.



Rys.3. Trójkąt dynamiczny falowych sił kanałowych - zapis równoważny

Rozkład w przestrzeni sił wyrażonych równaniem falowym [3] przedstawia Rys.3.1 poniżej.



Rys.3.1. Chwilowy rozkład sił wyrażanych równaniem falowym (na niebiesko zaznaczone indukowane siły bezwładności w układzie wirującym, nie zawiera skali sił)

Dzieląc równanie falowe [3] przez masę otrzymujemy siłę przypadającą na jednostkę masy, czyli funkcję przejścia jako wartość przyspieszeń inicjujących ruch obiektu, reprezentowanych przez składowe cząstkowe:

$$a_z = \frac{F_z}{m} = \frac{dv_z}{dt} = \frac{m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}{m} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})$$

Gdzie składowe bazowe przyspieszenia radialnego i transwersalnego wynoszą:

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$$

$$a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$$

Czyli główna relacja przyspieszeń wynosi:

$$a_z = a_r + i a_\theta$$

Należy zauważyć, że człony $(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)$ oraz $(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})$ są złożeniem indukujących przyspieszeń składowych, które można sumować skalarnie jedynie w obrębie danego kanału, gdyż ich wektory cząstkowe leżą odpowiednio na tej samej prostej. Natomiast wypadkowe przyspieszenie a_z dla całego procesu wynika z sumy geometrycznej obydwu członów z tym samym kątem φ jako argumentem wyliczonym dla sił:

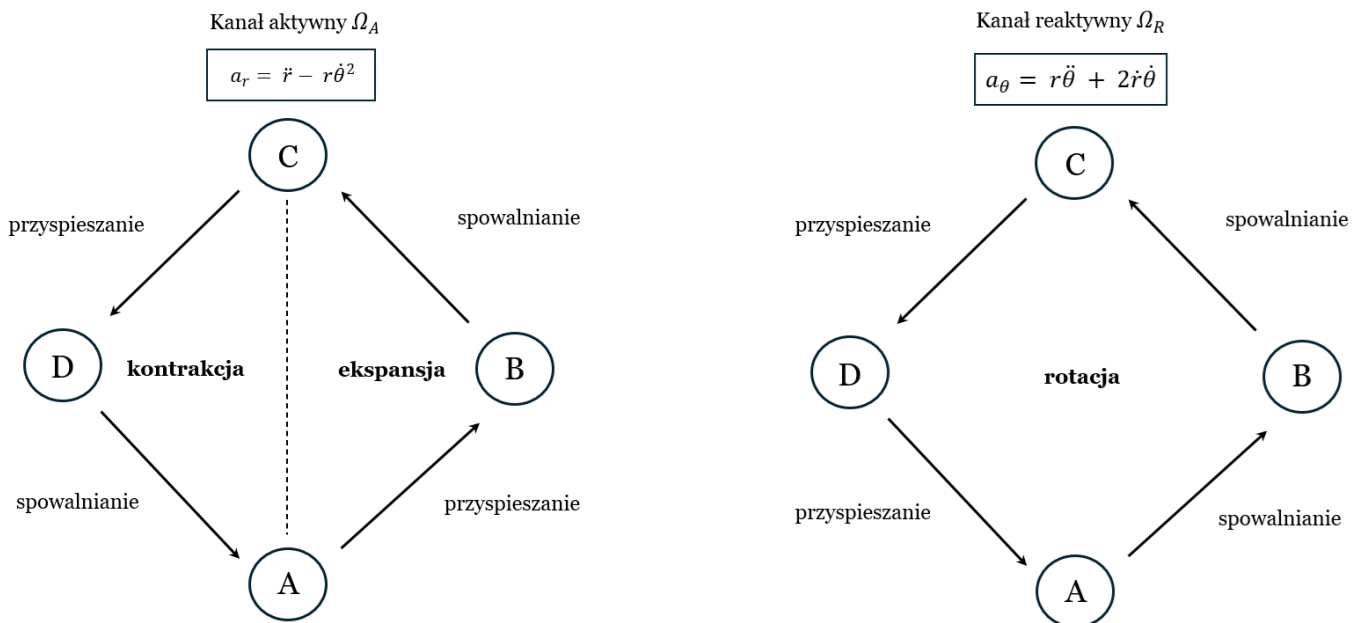
$$|a_z| = \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2}$$

$$a_z = |a_z|e^{i\varphi}$$

Mamy więc układ dwóch sprzężonych oscylatorów energetycznych, w których procesami zarządzają inicjujące przyspieszenia indukujące w następstwie moce orbitalne cząstkowe:

- $\ddot{r}$ - przyspieszenie z II zasady dynamiki Newtona w kanale radialnym
- $r\dot{\theta}^2$ - przyspieszenie dośrodkowe w kanale radialnym
- $r\ddot{\theta}$ - przyspieszenie Eulera w kanale transwersalnym
- $2\dot{r}\dot{\theta}$ - przyspieszenie Coriolisa scalające obydwa kanały

Aktywność obydwu oscylatorów została przedstawiona na Rys.3.2 poniżej:



Rys.3.2 Diagram przyspieszeń kanałowych.

4. Trójkąt mocy orbitalnej (TMO).

Mechanika klasyczna określa, że iloczyn siły F oraz prędkości v wyraża moc mechaniczną:

$$P_m = Fv$$

Dla przypadku ruchu liniowego, kiedy to wektor siły F i prędkości v leżą na tej samej prostej, matematyczne mnożenie tych wielkości w pełni opisuje wartość mocy mechanicznej przekazywanej układowi. W ruchu krzywoliniowym sytuacja staje się bardziej złożona, gdyż wektory główne siły F i prędkości v nie leżą na tej samej prostej tworząc w przestrzeni kąt roboczy. Oznacza to, że ciało przemieszczające się po trajektorii posiada dwa komponenty: translacyjny P i rotacyjny Q a moc mechaniczna S zawiera dwa niezależne składniki mogące pozostawać w różnych proporcjach. Obecnie klasyczna mechanika orbitalna nie posługuje się pojęciem mocy chwilowej w ruchu krzywoliniowym, dlatego niniejsze opracowanie wychodzi z propozycją rachunku tych mocy jako P_{or} , Q_{or} , S_{or} .

W tym przypadku liczby zespolone oferują głębszy wgląd we wnętrze zachodzącego procesu i podkreślają, że grawitacja statyczna (centralna siła Newtona) w dynamicznym układzie wirującym ulega transformacji do postaci zespolonej mocy orbitalnej S_{or} .

Wyprowadzone równanie falowe [3], po przemnożeniu przez zespoloną prędkość [0], definiuje zespoloną moc orbitalną S_{or} . W reprezentacji biegunowej wielkość ta ulega naturalnemu rozkładowi na składową rzeczywistą, odpowiadającą mocy aktywnej P_{or} , oraz składową urojoną, interpretowaną jako moc reaktywna Q_{or} .

$$S_{or} = \sum P_{or} + i \sum Q_{or} = F_z v_z = (\sum F_r + i \sum F_\theta)(v_r + i v_\theta)$$

Analiza geometrii rozkładu prędkości i sił na orbicie eliptycznej (Rys.3.1) wykazuje, że centralna siła grawitacji F_{grav} ma charakter statyczny i działa wyłącznie wzdłuż osi radialnej. Fakt ten świadczy, że przepływ mocy mechanicznej do kanału transwersalnego (i odwrotnie) może odbyć się jedynie poprzez indukcję wzajemną $-2m \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt}$ Coriolisa.

Transformacja grawitacji F_{grav} na układ dynamiczny zachodzi poprzez jej ciągle rzutowanie na oś tangencjalną (styczną do rzeczywistego toru ruchu), która jest odchylona od osi radialnej o kąt nachylenia toru $\gamma(t)$. Rzut ten definiuje wypadkową siłę dynamiczną $F_z(t)$ działającą wzdłuż wektora prędkości orbitalnej $v_{or} = v_z$. W celu opisu mocy orbitalnej S_{or} siła ta jest reprezentowana równaniem falowym [3] w postaci zespolonej $F_z = \sum F_r + i \sum F_\theta$, gdzie następuje jej rozkład na dwie ortogonalne składowe dynamiczne:

- składową sumaryczną radialną $\sum F_r$ - reprezentującą część rzeczywistą, działającą w osi radialnej indukując moc aktywną $\sum P_{or}$.

- składową sumaryczną transwersalną ΣF_θ - reprezentującą część urojoną, działającą w osi transwersalnej indukując moc reaktywną ΣQ_{or} .

Istnienie kąta $\gamma(t)$ wg. Rys.3.1 w ruchu po elipsie stanowi bezpośrednią przyczynę geometryczną, dla której statyczne pole grawitacyjne w ruchu niejednostajnym ulega transformacji do postaci zespolonej siły dynamicznej $F_z(t)$. Daje to możliwość mapowania tych klasycznych zależności na aparat liczb zespolonych do wyrażenia mocy orbitalnych cząstkowych.

Podstawiając zależności zespolone otrzymujemy:

$$\begin{aligned} S_{or} = F_z v_z &= (\Sigma F_r + i \Sigma F_\theta)(v_r + i v_\theta) = \\ &= \Sigma F_r v_r + i \Sigma F_r v_\theta + i \Sigma F_\theta v_r - \Sigma F_\theta v_\theta = \\ &= (\Sigma F_r v_r - \Sigma F_\theta v_\theta) + i (\Sigma F_r v_\theta + \Sigma F_\theta v_r) = \Sigma P_{or} + i \Sigma Q_{or} \end{aligned}$$

W powyższym równaniu daje się zauważyć, iż w części zarówno rzeczywistej jak i urojonej mieszają się ze sobą krzyżowo składniki sił i prędkości radialnych i transwersalnych przez co wyindukowane moce cząstkowe stają się wzajemnie silnie uwikłane. Prowadzi to do wniosku, że trajektoria orbity eliptycznej jest ciągłą (różniczkową) odpowiedzią geometrii układu na zadawany nieustannie i zmienny w czasie impuls wejściowy pochodzący od siły grawitacji w układzie 2D. Takie indukcyjne sprzężenie sterowane zasadą zachowania energii zachodzi również w czasoprzestrzeni trójwymiarowej 3D. Trójkąt falowy wg. Rys.3 reprezentujący również złożenie przyspieszeń:

$$a_z = a_r + i a_\theta$$

przywodzi na myśl kształt wykresu Hubble'a. Stanowić to może ewentualną podstawę do dalszej dyskusji na temat klasyfikacji rodzajów energii obecnych w czasoprzestrzeni lokalnie mieszających się radialnie i sferycznie (problem ciemnej energii).

Do przeprowadzenia wywodu na moc orbitalną S_{or} przedstawianą jako rozmaitość różniczkowalną $f(r, \theta, \dot{r}, \dot{\theta}, \ddot{r}, \ddot{\theta}, t)$ wyrazimy prędkość zespoloną w równoważnej formie jako:

$$v_z = v_r + i v_\theta = \dot{r} + i r \dot{\theta}$$

Zatem moc orbitalną wyrazimy jako:

$$\begin{aligned} S_{or}(r, \theta, \dot{r}, \dot{\theta}, \ddot{r}, \ddot{\theta}, t) &= ((m\ddot{r} - m r \dot{\theta}^2) + i (m r \ddot{\theta} + 2m \dot{r} \dot{\theta})) (\dot{r} + i r \dot{\theta}) = m \ddot{r} \dot{r} + i m \ddot{r} r \dot{\theta} - \\ &- m r \dot{\theta}^2 \dot{r} - i m r \dot{\theta}^2 r \dot{\theta} + i m r \ddot{\theta} \dot{r} - m r \ddot{\theta} r \dot{\theta} + i 2m \dot{r} \dot{\theta} \dot{r} - 2m \dot{r} \dot{\theta} r \dot{\theta} = (m \ddot{r} \dot{r} - m r \dot{\theta}^2 \dot{r} - m r \ddot{\theta} r \dot{\theta} - \\ &- 2m \dot{r} \dot{\theta} r \dot{\theta}) + i (m \ddot{r} r \dot{\theta} - m r \dot{\theta}^2 r \dot{\theta} + m r \ddot{\theta} \dot{r} + 2m \dot{r} \dot{\theta} \dot{r}) = (m \ddot{r} \dot{r} - m r \dot{\theta}^2 \dot{r} - m r^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} - 2m \dot{r} r \dot{\theta}^2) + \\ &+ i (m \ddot{r} r \dot{\theta} - m \dot{\theta}^3 r^2 + m r \ddot{\theta} \dot{r} + 2m \dot{r}^2 \dot{\theta}) = \end{aligned}$$

$$= \underbrace{m(\ddot{r} \dot{r} - r \dot{\theta}^2 \dot{r} - r^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} - 2\dot{r} r \dot{\theta}^2)}_{\text{}} + i \underbrace{m(\ddot{r} r \dot{\theta} - \dot{\theta}^3 r^2 + r \ddot{\theta} \dot{r} + 2\dot{r}^2 \dot{\theta})}_{\text{}} \quad 16$$

[4]

$$Re: \Sigma P_{or}$$

$$Im: \Sigma Q_{or}$$

Przedstawiając osobno składowe rzeczywistą i urojoną równania otrzymujemy dla masy orbitującej sumaryczną *moc aktywną* ΣP_A odpowiedzialną za skurcz/rozkurcz układu grawitacyjnego (kontrakcja/ekspansja). Jest to chwilowa moc mechaniczna wydatkowana na zmianę wysokości orbity ciała o masie m :

$$\Sigma P_{or} = m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2\dot{r}r\dot{\theta}^2}) = m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta}) - \underbrace{\mathbf{2m\dot{r}r\dot{\theta}^2}}_{\substack{\text{chwilowa moc} \\ \text{radialna przenoszona} \\ \text{przez efekt Coriolisa}}}$$

Część urojona jest sumaryczną, chwilową *mocą reaktywną* ΣQ_{or} wydatkowaną na zmianę prędkości obrotowej (transwersalnej) satelity i budowę momentu pędu:

$$\Sigma Q_{or} = m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2\dot{r}^2\dot{\theta}}) = m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r}) + \underbrace{\mathbf{2m\dot{r}^2\dot{\theta}}}_{\substack{\text{chwilowa moc} \\ \text{transwersalna przenoszona} \\ \text{przez efekt Coriolisa}}}$$

Struktura równań wykazuje głębokie uwikłanie obydwu kanałów energetycznych. W formalizmie tym operator Coriolisa przetwarza dwie niejednakowe składowe mocy mechanicznych, zaznaczone we wzorach pogrubioną czcionką - jedna w kanale aktywnym Ω_A a druga w kanale reaktywnym Ω_R :

$$Re: P_{c(\Omega_A)} = -\mathbf{2m\dot{r}r\dot{\theta}^2}$$

$$Im: Q_{c(\Omega_R)} = +\mathbf{2m\dot{r}^2\dot{\theta}}$$

Oznacza to, że efekt Coriolisa jest niesymetryczny, kanały nie są równorzędne energetycznie i sprzężenie kanałowe zachodzi w chwiejnym stosunku k_c :

$$k_c = \frac{Q_{c(\Omega_R)}}{P_{c(\Omega_A)}} = \frac{+2m\dot{r}^2\dot{\theta}}{-2m\dot{r}r\dot{\theta}^2} = \frac{+\dot{r}}{-r\dot{\theta}} = \frac{+ \text{pęd radialny}}{- \text{pęd transwersalny}}$$

Ten wewnętrzny stosunek pędu zespolonego k_c jest zmienną w czasie *indukcyjnością wzajemną* sprzężenia zachodzącego między kanałami wynikającą z geometrii układu. Efekt działa oscylacyjnie i w taki sposób, że bieżąca odpowiedź geometrii radialnej i transwersalnej przeciwstawia się w czasie wymuszeniu pochodzącemu od zmieniającej się w czasie siły grawitacji. Podczas kontrakcji (C→A) siła grawitacji F_{grav} jest jedynym inicjatorem ruchu a sprzeciwiające się siły bezwładności opisane równaniem falowym [2]

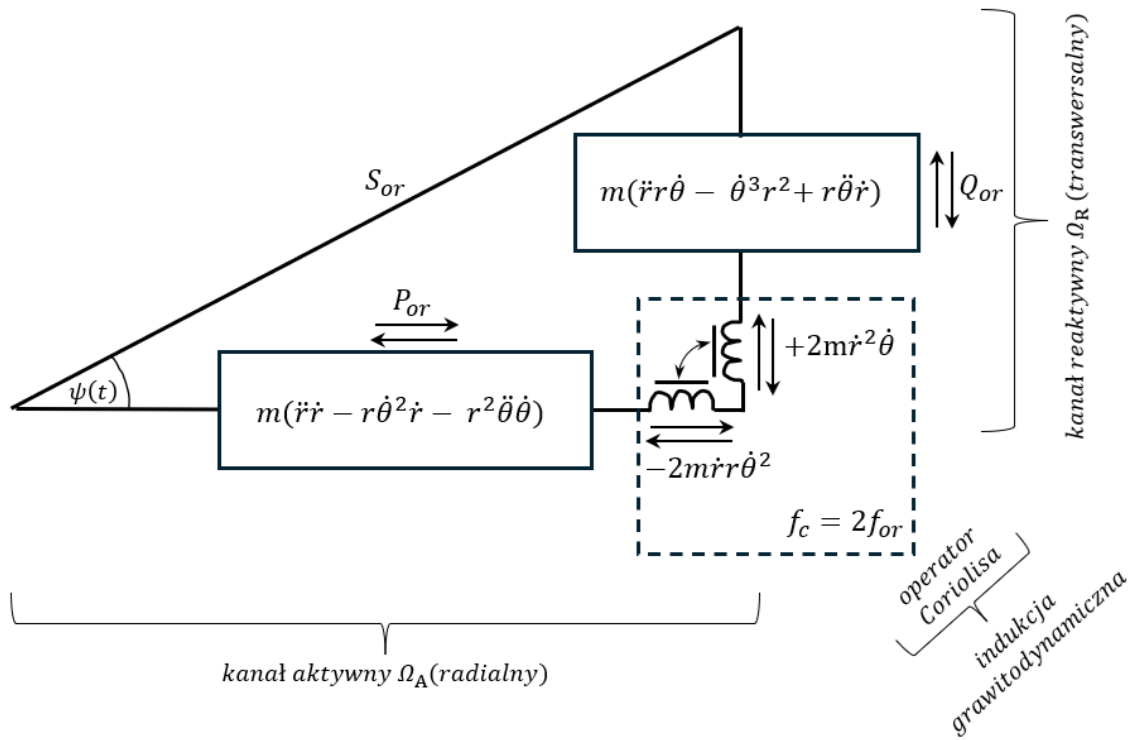
są hamulcami dla ruchu przyspieszającego transwersalnego. Podczas ekspansji (A→C) role się odwracają i hamulcem dla opóźniającego ruchu transwersalnego staje się grawitacja F_{grav} , której przeciwstawiają się siły bezwładności podtrzymujące ten ruch indukcyjnie. W ciągu jednego okresu T_{or} prowadzi to do pulsacji mocy chwilowej S_{or} między kanałami Ω_A i Ω_R z podwojoną częstotliwością $f_c = 2f_{or}$ wynikającą z geometrycznej sumy składników P_{or} i Q_{or} wyrażonej równaniem [4]:

$$|S_{or}| = \sqrt{(\sum P_{or})^2 + (\sum Q_{or})^2}$$

$$|S_{or}| = \sqrt{((m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}\dot{r}\dot{\theta}^2))^2 + (m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}))^2}$$

Aby prawidłowo zinterpretować bieżący stan (skurcz/rozkurcz oraz przyspieszanie kątowe/opóźnianie kątowe) zależnie od stadium obrotu między punktami A/B/C/D, należy w przyjętym układzie biegunowym uwzględnić znaki (+/-) prędkości oraz przyspieszeń widocznych we wzorze [4]. Indukowane moce orbitalne cząstkowe są więc ściśle zależne od iloczynu prędkości i jej pochodnej w danym kanale. Oznacza to, że indukowane wektory sił (mocy) składowych nie muszą w tym samym momencie posiadać zgodnych zwrotów i mogą czasowo trwać we wzajemnej przeciwfazie – zależnie od kwadrantu mocy wynikającego z położenia na elipsie A/B/C/D. Właśnie znaki prędkości i przyspieszeń decydują czy dana moc (P_{or} , Q_{or}) jest chwilowo oddawana czy pobierana. Stanowi to podstawę do analizy czterokwadrantowej mocy A/B, B/C, C/D, D/A – co obrazuje przykładowo zielony trójkąt na Rys.4.2 - jako chwilowa sytuacja w jednym z czterech kwadrantów.

Proces konwersji mocy orbitalnej wywodzący się z równania [4] można przedstawić w postaci *trójkąta mocy orbitalnej* TMO - Rys.4.



Rys.4. Trójkąt mocy orbitalnej (TMO) wywodzący się z równania [4] z wydzielonym operatorem Coriolisa.

Wyprowadzone równanie falowe mocy orbitalnej [4]:

$$S_{or} = \sum P_{or} + i \sum Q_{or} = m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2\dot{r}r\dot{\theta}^2}) + i m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2\dot{r}^2\dot{\theta}}) \quad [4]$$

możemy przedstawić w formie wykładniczej. W tym celu obliczamy amplitudę (moduł) oraz fazę przesunięcia ψ . Moduł przedstawimy jako:

$$|S_{or}| = \sqrt{(\sum P_{or})^2 + (\sum Q_{or})^2}$$

$$|S_{or}| = \sqrt{(m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2\dot{r}r\dot{\theta}^2}))^2 + (m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2\dot{r}^2\dot{\theta}}))^2}$$

Kąt przesunięcia fazowego wynikającego z obecności obydwu rodzajów mocy orbitalnych wyliczymy jako:

$$\psi = \arctg \frac{\sum Q_{or}}{\sum P_{or}} = \frac{m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2\dot{r}^2\dot{\theta}})}{m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2\dot{r}r\dot{\theta}^2})} = \frac{\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2\dot{r}^2\dot{\theta}}}{\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2\dot{r}r\dot{\theta}^2}}$$

Zatem pełne równanie w formie wykładniczej wyrazimy jako:

$$S_{or} = |S_{or}| e^{i\psi}$$

Zwraca się uwagę, że ψ jest kątem energetycznym i nie jest tożsamy z kątem φ liczonym dla równania falowego sił – to różne poziomy matematyczne. Każdy z nich wyraża inną wielkość fizyczną, mimo że obydwa są powiązane i jednocześnie uczestniczą w procesie.

Uwzględniając źródłową rolę centralnej masy newtonowskiej $M_{(r)}$ zawartej wewnątrz sfery o zmiennym (falowym) promieniu wodzącym $r(t)$ wzór na moc orbitalną układu „ $M_{(r)}$ - m ” wyrazimy wzorem:

$$\begin{aligned} S_{or} = F_z v_z &= \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma v_z = \\ &= m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}) \end{aligned}$$

gdzie:

$v_z = \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2}$ – prędkość tangencjalna satelity jako złożenie wektorowe prędkości radialnej i transwersalnej.

$M_{(r)}$ – masa zawarta w sferze o promieniu wodzącym $r(t)$.

Model energetyczny ruchu orbitalnego i geometryczną interpretację wzoru [5] na moc orbitalną S_{or} przedstawia Rys.4.1. Ciało centralne (jeśli jest jednorodne) również posiada własne moce orbitalne oraz kąt fazowy. Składowe takie jak siła, prędkość, przyspieszenie, tworzą własne odmienne trójkąty fazowe, ale jedynie trójkąt mocy agregujący wszystkie te zmienne procesowe przedstawia jednolitą energetykę zjawiska. Uwzględniając kanałowe przyspieszenia i pędy kąt $\psi(t)$ jest identyczny z kątem fazowym wyznaczonym przez impedancję orbitalną Z_{or} co zostanie wyjaśnione w dalszej części pracy.

Ostatecznie wzór na moc orbitalną przybierze postać:

$$S_{or} = \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2} = m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}) \quad [5]$$

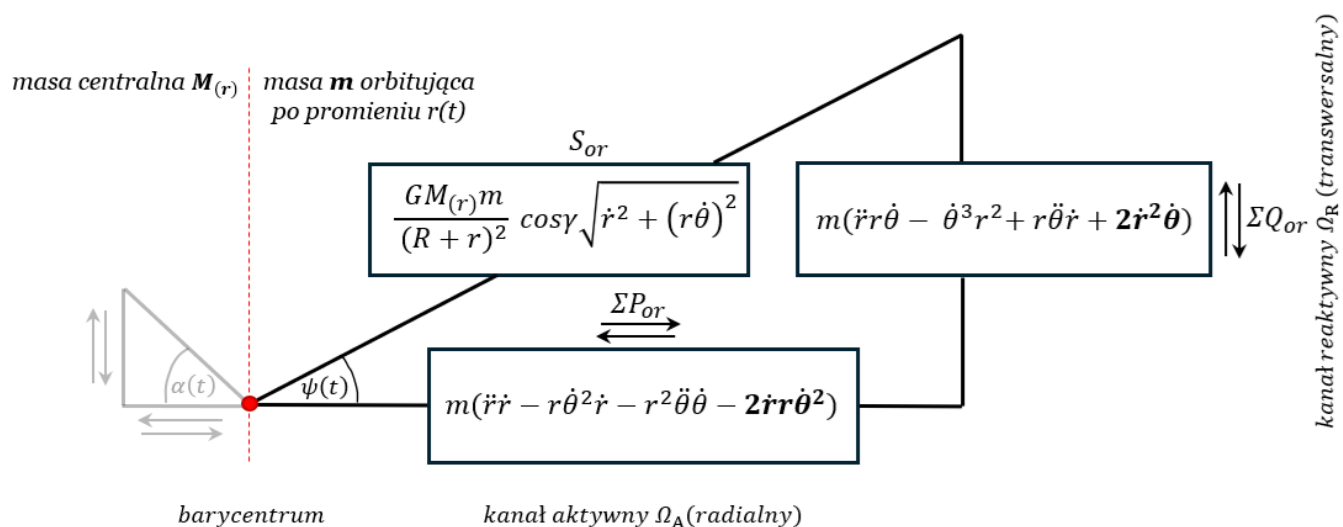
Oraz zajdzie zależność geometryczna:

$$\left\{ \begin{aligned} \Sigma P_{or} = S_{or} \cos \psi &= m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) = \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2} \cos \psi \\ \Sigma Q_{or} = S_{or} \sin \psi &= m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}) = \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2} \sin \psi \end{aligned} \right. \quad 20$$

Pełne równanie mocy orbitalnej S_{or} (odpowiednik mocy pozornej S w teorii elektrotechniki) w wersji skalarnej wyrazimy w postaci:

$$|S_{or}| = \sqrt{(\Sigma P_{or})^2 + (\Sigma Q_{or})^2}$$

$$\left| \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\theta})^2} \right| = \sqrt{\left(m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}\dot{r}\dot{\theta}^2) \right)^2 + \left(m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}) \right)^2}$$



Rys.4.1. Trójkąt falowy mocy orbitalnej w układzie: „masa centralna - satelita”.

Zasadę konstruowania chwilowej mocy orbitalnej S_{or} na płaszczyźnie zespolonej przedstawia Rys.4.2.

różnica w rozumieniu oraz bezpośrednia analogia do kąta przesunięcia fazowego ψ w obwodach prądu przemiennego między napięciem a prądem w czasie. Tak więc kąt geometryczny $\gamma = \varphi$ oraz fazowy ψ funkcjonują w odmiennych dziedzinach.

Podkreśla się również, że poprzez ciągłe różniczkowanie p_z siły bezwładności pokazane na Rys.3.1 inicjują proces przepływu mocy mechanicznej między kanałami wg. Rys.4.2 – wzniecają ruch. Siły te są statycznym obrazem chwilowym a wywołany nimi dynamiczny ruch mas w czasoprzestrzeni rodzi pulsacje cząstkowych mocy mechanicznych. Sprężenia krzyżowe Coriolisa prowadzą do indukowania w stanie nieustalonym podwojonej ilości składowych mocy orbitalnych przynależnych do każdego kanału wzniecanych podwojoną częstotliwością $2\chi_{for}$ pulsacji mocy orbitalnej S_{or} [5]. Trójkąt mocy orbitalnej przybiera zatem kształt zależny od kwadrantu (Rys.5.2) oraz obrotu wektora mocy na płaszczyźnie zespolonej a w punktach perycentrum i apocentrum zanika całkowicie – nie występuje tam przepływ mocy.

Przyglądając się bliżej równaniu [5] wyrażającemu całkowitą moc S_{or} zauważymy, że część rzeczywista i urojona mocy posiada w sumie po 4 człony ze znakiem dodatnim (+) oraz cztery człony ze znakiem ujemnym (-).

$$\Sigma P_{or} = m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) = \underset{(+)}{m\ddot{r}\dot{r}} - \underset{(-)}{mr\dot{\theta}^2\dot{r}} - \underset{(-)}{mr^2\ddot{\theta}\dot{\theta}} - \underset{(-)}{2m\dot{r}r\dot{\theta}^2}$$

$$\Sigma Q_{or} = m(\dot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}) = \underset{(+)}{m\dot{r}r\dot{\theta}} - \underset{(-)}{m\dot{\theta}^3r^2} + \underset{(+)}{mr\ddot{\theta}\dot{r}} + \underset{(+)}{2m\dot{r}^2\dot{\theta}}$$

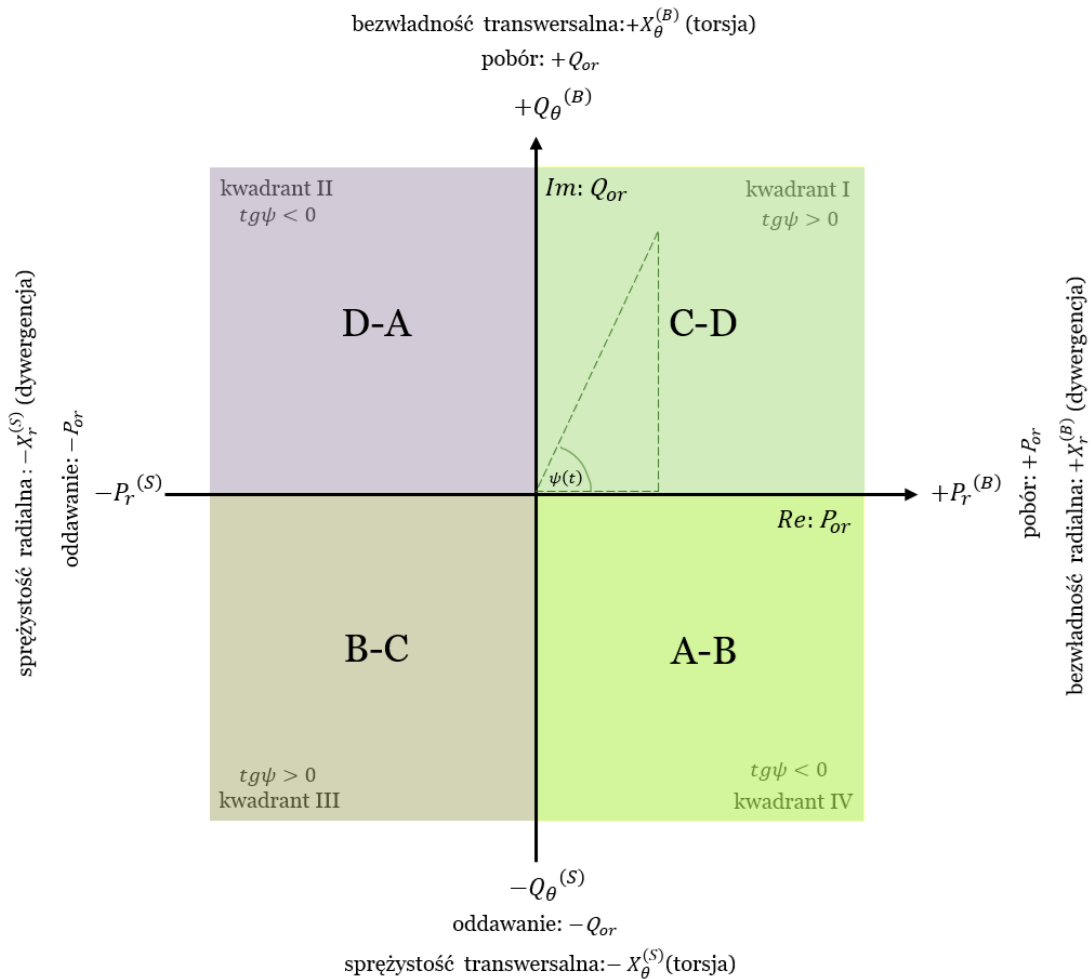
Nie jest to przypadkowe, gdyż w tym miejscu algebra liczb zespolonych organizuje składniki w strukturalną zależność energetyczną oddziałujących na siebie kanałów. W teorii obwodów prądu przemiennego moc bierną Q rozdziela się standardowo na moc bierną indukcyjną $+Q^{(L)}$ oraz moc bierną pojemnościową $-Q^{(C)}$. Charakter indukcyjny (+) lub pojemnościowy (-) mocy uzależniony jest od sposobu magazynowania energii w polu magnetycznym lub elektrycznym składników gałęziowych połączonych w cały obwód, w którym wypadkowa moc bierna $Q_{el} = +Q^{(L)} - Q^{(C)}$. W klasycznej mechanice drgań istnieje podobny podział na moce przenoszone przez *masy* oraz *sprężystości*. Mechanicznymi odpowiednikami w metodzie impedancyjnej – respektując zasadę znakowania - są tu moc reaktywna bezwładności $+Q^{(B)}$ oraz moc reaktywna sprężystości $-Q^{(S)}$, gdzie wypadkowa $Q_{mech} = +Q^{(B)} - Q^{(S)}$. W omawianym modelu istnieją dwa ortogonalne kanały przenoszące drogą *indukcji grawitodynamicznej* mechaniczne moce *bezwładności* oraz *sprężystości*, przy czym kanał radialny pracując z mocą ΣP_{or} wymienia energię dywergencji podczas gdy kanał transwersalny pracując z mocą ΣQ_{or} wymienia energię torsji. Sprężenie Coriolisa miesza składowe moce co zostało wprowadzone równaniami w rozdziale 4. W związku z tym charakter

bezwładny/sprężysty mocy kanałowej uzależniony jest od geometrii orbity oraz aktualnej pozycji satelity między punktami A/B/C/D. Punkty absydalne oraz punkty łatus rectum pełnią rolę granicznych przełączników fazowych dla mocy $+P_r^{(B)}$, $-P_r^{(S)}$, $+Q_\theta^{(B)}$, $-Q_\theta^{(S)}$ i reaktancji wyznaczając punkt zmiany charakteru pędu co przedstawia Rys.3.2. Z uwagi na sprzężenie dwóch oscylatorów dla utrzymania czytelności wypadkowe moce grupuje się w następujący sposób:

$$\sum P_{or} = +P_r^{(B)} - P_r^{(S)}$$

$$\sum Q_{or} = +Q_\theta^{(B)} - Q_\theta^{(S)}$$

Indukowanie mocy orbitalnej S_{or} w zależności od charakteru pędu zespolonego (*bezwładny/sprężysty*) na płaszczyźnie zespolonej przedstawia Rys.5.2. Wykres ten informuje czy w danym położeniu i chwili na elipsie orbity satelita pobiera moc ze źródła pola grawitacyjnego czy też ją oddaje oraz jakiego rodzaju jest to moc (aktywna P czy reaktywna Q).



Rys.5.2. Wykres czterokwadrantowy mocy orbitalnej S_{or} .

Wprowadzenie znaku (+) dla *bezwładności* (masy) oraz (-) dla *sprężystości* (grawitacji) jest tu celowym zabiegiem. To odwzorowanie tego, jak te dwie wielkości fizyczne zachowują się w naturze. Są to odpowiednio dwie przeciwstawne moce mechaniczne ($+P_r^{(B)}, -P_r^{(S)}$) oraz ($+Q_\theta^{(B)}, -Q_\theta^{(S)}$) operujące ortogonalnie w gałęziach wg. Rys.8.2, które w każdym kanale zachowują się analogicznie jak moc bierna indukcyjna i pojemnościowa w obwodzie elektrycznym. Uwzględniając naturę oddziaływania bezwładnego i sprężystego można więc równanie [5] wyrazić w następującej formie impedancyjnej:

$$S_{or} = \sum P_{or} + i \sum Q_{or} = (\sum P_r^{(B)} - \sum P_r^{(S)}) + i (\sum Q_\theta^{(B)} - \sum Q_\theta^{(S)})$$

gdzie wartość skuteczną (moduł) obliczymy jak poniżej:

$$|S_{or}| = \sqrt{(\sum P_r^{(B)} - \sum P_r^{(S)})^2 + (\sum Q_\theta^{(B)} - \sum Q_\theta^{(S)})^2}$$

Moce te definiują również przeciwstawne reaktancje mechaniczne ($+X_r^{(B)}, -X_r^{(S)}$) oraz ($+X_\theta^{(B)}, -X_\theta^{(S)}$), które znosząc się wzajemnie w danym kanale określają charakter pędu. Reaktancja wypadkowa X w kanale określa pobór lub oddawanie rodzaju mocy kinetycznej w cyklu. Wykres na Rys.5.2 ułatwia zrozumienie przepływu energii między kanałami akcentując, że *bezwładność* ($+X$) i *sprężystość* ($-X$) są reaktancjami okresowo gromadzącymi i przenoszącymi w czasoprzestrzeni energię ruchu drogą indukcji co dla tradycyjnej metody opisu opartej na energii kinetycznej i potencjalnej jest niewidoczne.

5. Trójkąt impedancji orbitalnej (TIO).

Impedancja orbitalna Z_{or} jest nieliniową zespoloną wielkością zmieniającą się w czasie, opisującą chwilową niechęć układu orbitalnego do zmiany swojej geometrii w odpowiedzi na wymuszenia dynamiczne pochodzące od siły grawitacji F_{grav} . Wynika to bezpośrednio z faktu, że ruch orbitalny nie jest jednorodny i składa się z dwóch procesów fizycznych przenikających się nawzajem w ortogonalnych kanałach. Każdy z tych obydwu procesów posiada własne składowe siły bezwładności, siły sprężystości, czasy relaksacji, przyspieszenia oraz moce. Dlatego odpowiedź na wymuszenie nie jest natychmiastowa, lecz uwikłana i fazowo opóźniona w czasie. Wprowadzenie impedancji orbitalnej Z_{or} pozwala zapisać tę złożoną odpowiedź w formie jednej wielkości zespolonej, która opisuje chwilowy opór geometrii układu grawitacyjnego wobec zmian:

$$Z_{or} = \sum X_r + i \sum X_\theta$$

gdzie:

- $\sum X_r$ - wypadkowa *reaktancja radialna* - opisuje zjawiska radialne/translacyjne (kanał aktywny Ω_A),
- $\sum X_\theta$ – wypadkowa *reaktancja transwersalna* - opisuje zjawiska transwersalne/rotacyjne (kanał reaktywny Ω_R)

Stosunek tych dwóch wypadkowych zmiennych definiuje kąt zestrojenia orbitalnego tożsamy z kątem energetycznym mocy orbitalnej obliczanym w poprzednim rozdziale:

$$\psi = \arctg \frac{\sum X_\theta}{\sum X_r}$$

Ta konstrukcja matematyczna akcentuje falowy charakter ruchu, w którym każdy stan energetyczny kanałów jest sparametryzowany globalnie przez impedancję Z_{or} i moc S_{or} . Dzięki temu możliwe jest opisanie orbitowania nie jako statycznej i gładkiej geometrii, lecz jako dynamicznego procesu energetycznego, w którym translacja i rotacja pozostają sprzężone poprzez fazę $\psi(t)$ wymuszając skokowe rezonanse. Układ grawitacyjny (eliptyczna orbita) tworzy reaktancyjny dwójnik mechaniczny (Rys.8.2), w którym oddziałują ze sobą dwa sprzężone nieliniowe oscylatory realizujące określoną funkcję przejścia pod wpływem siły grawitacji. Otwiera to drogę do wyprowadzenia zależności na wypadkową *reaktancję radialną* $\sum X_r$ i wypadkową *reaktancję transwersalną* $\sum X_\theta$, które porządkują dynamizm układu w sposób analogiczny do teorii obwodów AC, lecz zachodzący w czasoprzestrzeni fazowej. Ponieważ $\sum X_r$ oraz $\sum X_\theta$ tworzące Z_{or} są elementami reaktancyjnymi o dynamicznych własnościach, zatem mogą zarówno pochłaniać jak i oddawać zgromadzoną energię mechaniczną zależnie od stadium cyklu. Głębsza struktura matematyczna wypadkowych reaktancji kryje składowe związane z *bezwładnościami* oraz *sprężystościami* okresowo pobierające i zwracające moc w zależności od kwadrantu cyklu A/B, B/C, C/D, D/A. Wielkości te tworzą trójkąt impedancji orbitalnej (TIO) widoczny na Rys.5.1.

Klasyczna mechanika określa, iż stosunek siły F do prędkości v wyraża impedancję mechaniczną:

$$Z_m = \frac{F}{v}$$

W naszym przypadku iloraz ten zostanie przedstawiony jako stosunek siły zespolonej opisanej wywiedzionym równaniem falowym [3] do prędkości zespolonej [0].

Podstawiając zależności otrzymujemy:

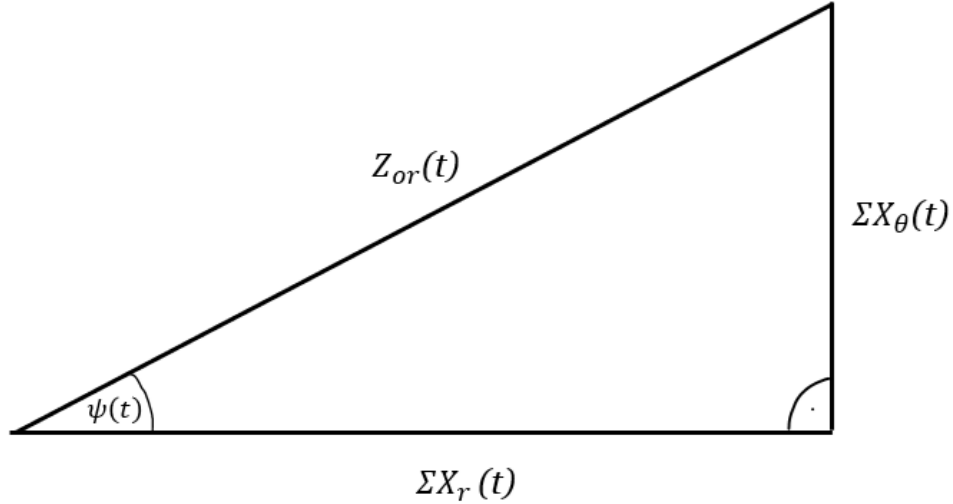
$$Z_{or} = \frac{F_z}{v_z} = \frac{\sum F_r + i \sum F_\theta}{v_r + i v_\theta}$$

Ponieważ istnieje podana wcześniej zależność:

$$v_z = v_r + i v_\theta = \dot{r} + i r \dot{\theta}$$

otrzymujemy wzór na zespoloną impedancję orbitalną:

$$\begin{aligned} Z_{or}(r, \theta, \dot{r}, \dot{\theta}, \ddot{r}, \ddot{\theta}, t) &= \frac{m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}{\dot{r} + i r \dot{\theta}} = \frac{m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}{\dot{r} + i r \dot{\theta}} \frac{(\dot{r} - i r \dot{\theta})}{(\dot{r} - i r \dot{\theta})} = \\ &= \frac{m\ddot{r}\dot{r} - im\ddot{r}r\dot{\theta} - mr\dot{\theta}^2\dot{r} + imr\dot{\theta}^2r\dot{\theta} + imr\ddot{\theta}\dot{r} + mr\ddot{\theta}r\dot{\theta} + i2m\dot{r}\dot{\theta}\dot{r} + 2m\dot{r}\dot{\theta}r\dot{\theta}}{\dot{r}^2 - i\dot{r}r\dot{\theta} + i\dot{r}r\dot{\theta} + r^2\dot{\theta}^2} \\ &= \frac{(m\ddot{r}\dot{r} - mr\dot{\theta}^2\dot{r} + mr^2\ddot{\theta}\dot{\theta} + 2m\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i(-m\ddot{r}r\dot{\theta} + mr^2\dot{\theta}^3 + mr\ddot{\theta}\dot{r} + 2m\dot{r}^2\dot{\theta})}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2} \\ &= \frac{m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} + r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} + 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i m(r^2\dot{\theta}^3 - \ddot{r}r\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta})}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2} \\ &= m \underbrace{\frac{\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} + r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} + 2\dot{r}r\dot{\theta}^2}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2}}_{Re: \Sigma X_r} + i m \underbrace{\frac{r^2\dot{\theta}^3 - \ddot{r}r\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2}}_{Im: \Sigma X_\theta} \end{aligned}$$



Rys.5.1 Trójkąt impedancji orbitalnej (TIO)

Obliczając kąt zestrojenia orbitalnego $\psi(t)$ zauważymy, że jest on identyczny z wyliczonym na podstawie równań mocy orbitalnych:

$$\psi = \arctan \frac{\sum X_\theta}{\sum X_r} = \arctan \frac{\sum Q_{or}}{\sum P_{or}} = \frac{m \frac{r^2 \dot{\theta}^3 - \ddot{r} r \dot{\theta} + r \ddot{\theta} \dot{r} + 2 \dot{r}^2 \dot{\theta}}{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2}}{m \frac{\ddot{r} \dot{r} - r \dot{\theta}^2 \dot{r} + r^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} + 2 \dot{r} r \dot{\theta}^2}{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2}} =$$

$$= \frac{r^2 \dot{\theta}^3 - \ddot{r} r \dot{\theta} + r \ddot{\theta} \dot{r} + 2 \dot{r}^2 \dot{\theta}}{\ddot{r} \dot{r} - r \dot{\theta}^2 \dot{r} + r^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} + 2 \dot{r} r \dot{\theta}^2}$$

Podobnie jak dla mocy orbitalnej impedancja orbitalna spełnia warunki wyrażenia:

$$|Z_{or}| = \sqrt{\sum X_r^2 + \sum X_\theta^2}$$

oraz:

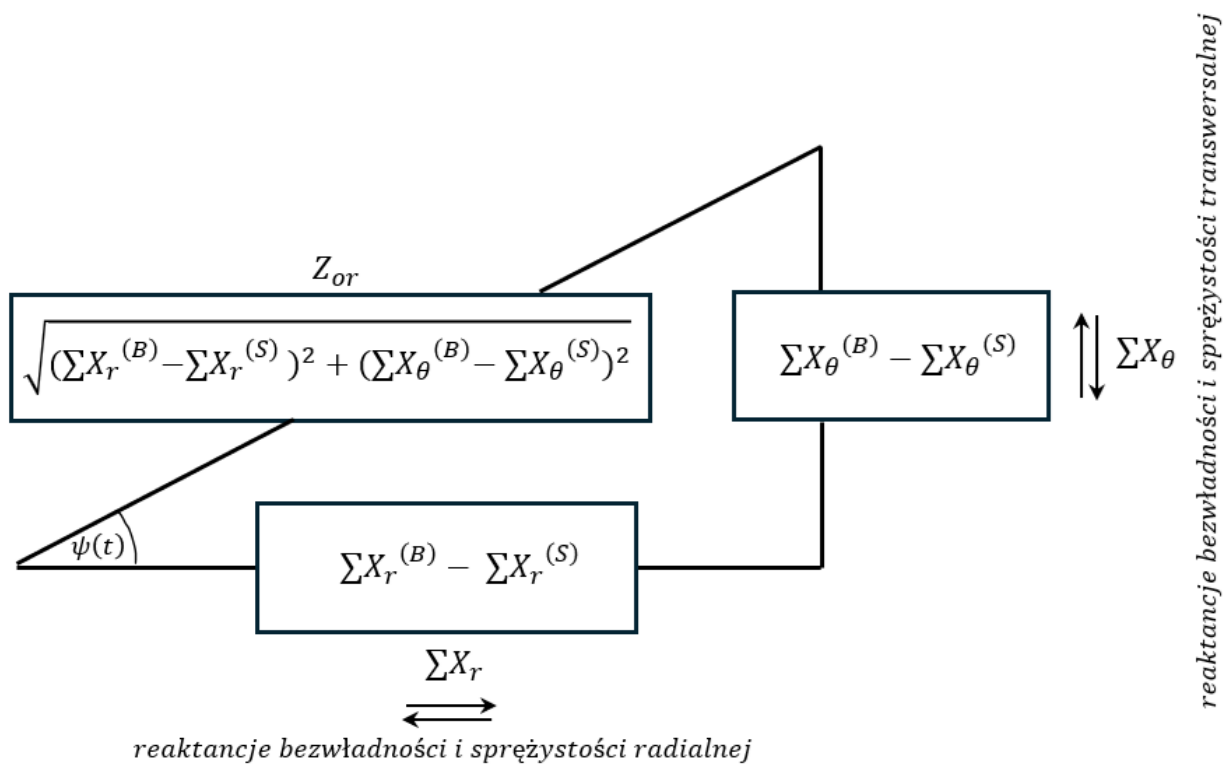
$$Z_{or} = |Z_{or}| e^{i\psi}$$

Reaktancje kanałowe $\sum X_r$ oraz $\sum X_\theta$ przedstawione na Rys.8.2 są wielkościami wypadkowymi, zatem kryją w swoich gałęziach głębszą złożoność. Okresowo magazynują i zwracają one energię ruchu kinetycznego. Jak zostało wspomniane wypadkowa impedancja orbitalna uzależniona jest pozycji na orbicie a charakter *bezwładny/sprężysty* zależy od kwadrantu mocy. Postać impedancyjną wyraża równanie:

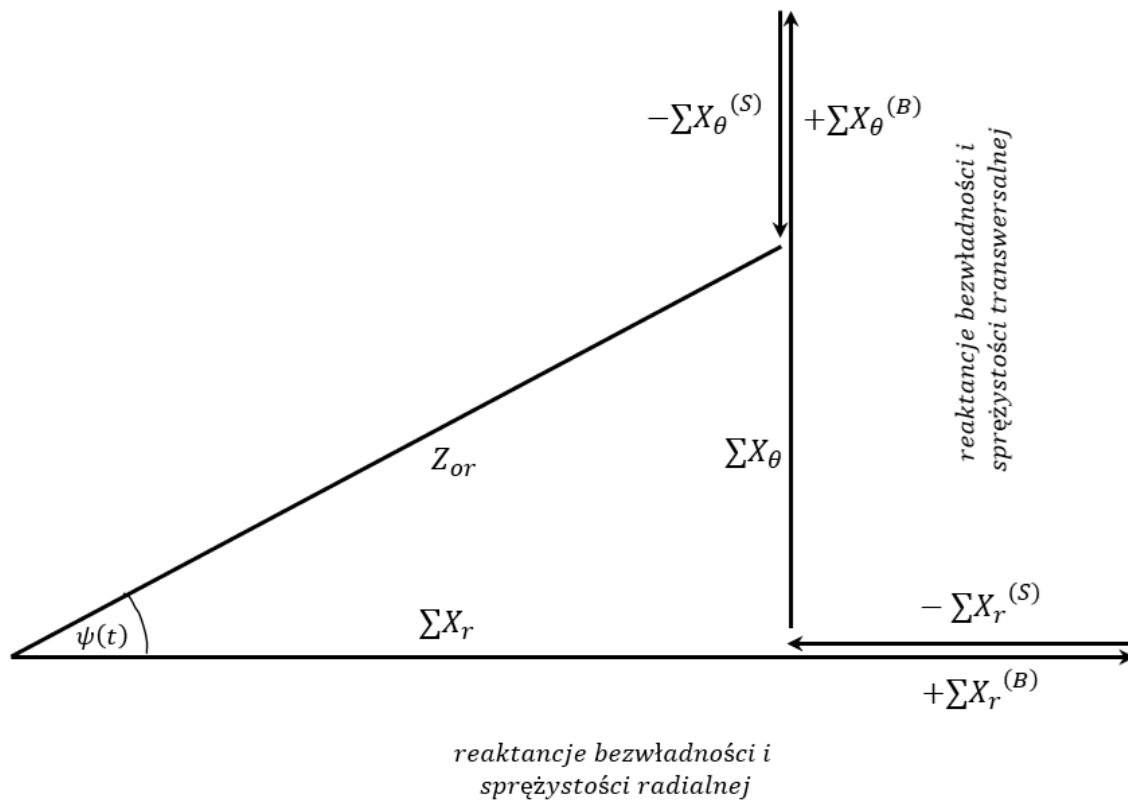
$$Z_{or} = \sum X_r + i \sum X_\theta = (\sum X_r^{(B)} - \sum X_r^{(S)}) + i (\sum X_\theta^{(B)} - \sum X_\theta^{(S)})$$

$$|Z_{or}| = \sqrt{(\sum X_r^{(B)} - \sum X_r^{(S)})^2 + (\sum X_\theta^{(B)} - \sum X_\theta^{(S)})^2}$$

Graficzną postać interakcji kanałowych reaktancji bezwładności i sprężystości przedstawia Rys.5.2. Jak widać w każdym kanale energetycznym reaktancje te są przeciwnymi wielkościami fizycznymi i znoszą się skalarne częściowo lub całkowicie wytyczając charakter ruchu radialnego i transwersalnego. Odpowiednio reaktancja bezwładności (masowa) ze znakiem (+) gromadzi energię kinetyczną podczas przyspieszania. Reaktancja sprężystości (odkształceniowa) ze znakiem (-) oddaje energię kinetyczną podczas spowalniania ruchu na orbicie. Powstały trójkąt impedancji orbitalnej jest tworem wypadkowym. Jego dynamiczny kształt obrazuje wykres wskazowy Rys.5.3.



Rys.5.2 Trójkąt reaktancji bezwładności i sprężystości.



Rys.5.3 Wykres wskazowy reaktancji bezwładności i sprężystości.

6. Orbitalne prawo Ohma

Wywiedzione powyżej zależności globalne Z_{or} oraz S_{or} sterujące procesem pozwalają na sformułowanie orbitalnego prawa Ohma (poprzez analogię do $I = \frac{U}{Z}$) dla czasoprzestrzeni fazowej:

$$\begin{aligned} v_z = \frac{F_z}{Z_{or}} &= \frac{\sum F_r + i \sum F_\theta}{\sum X_r + i \sum X_\theta} = \\ &= \frac{m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}{m \frac{\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} + r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} + 2\dot{r}r\dot{\theta}^2}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2} + i m \frac{r^2\dot{\theta}^3 - \ddot{r}r\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2}} \\ &= \frac{(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})}{\frac{\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} + r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} + 2\dot{r}r\dot{\theta}^2}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2} + i \frac{r^2\dot{\theta}^3 - \ddot{r}r\dot{\theta} + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}}{\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2}} \end{aligned}$$

lub:

$$\begin{aligned} v_z = \frac{S_{or}}{F_z} &= \frac{m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta})}{\frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma} = \\ &= \frac{(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2) + i(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta})}{\frac{GM_{(r)}}{(R+r)^2} \cos\gamma} \end{aligned}$$

Należy przy tym wyraźnie rozróżnić dwa poziomy analizy:

- Poziom wymuszenia - centralna siła grawitacji F_{grav} wg. Rys.3.1 po zrzutowaniu na kierunek styczny do toru elipsy:

$$F_z = F_{grav} \cos\gamma = \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma$$

nie jest obrazem natychmiastowym na tej prostej. Informacja o zmianie geometrii rozchodzi się ze skończoną prędkością (w granicy c), więc układ orbitalny będąc układem nadążnym reaguje z pewnym modyfikowanym opóźnieniem (czasem relaksacji $\tau_z = \tau_r + i\tau_\theta$). Moc mechaniczna źródłowa (pierwotna) to iloczyn $F_z v_z$, która w następstwie opóźnienia τ_z ulega dekompozycji na składowe aktywną i reaktywną.

- Poziom odpowiedzi układu - wszystkie mechaniczne moce cząstkowe indukowane w kanałach Ω_A, Ω_R są interpretowane jako strona wtórna opisana wzorem [5]. To

właśnie z geometrycznej sumy tych krzyżowych odpowiedzi budowana jest zespolona moc orbitalna S_{or} .

Dlatego w relacji:

$$v_z = \frac{S_{or}}{F_z}$$

wielkość S_{or} nie pochodzi wprost z iloczynu $\frac{GM(r)m}{(R+r)^2} \cos \gamma$ v_z , lecz z indukcyjnej reakcji układu na wymuszenie w kierunku stycznym do orbity (tangencjalnym). Zatem siła F_z odczytywana z geometrii jest przyczyną ruchu, natomiast S_{or} jest miarą skutku energetycznego tej przyczyny w obu kanałach dekomponowanych na składowe ortogonalne. Wtedy właśnie kąt fazowy ψ staje się globalną miarą tej odpowiedzi na ciągle zaburzenie w czasie $\tau_z = \tau_r + i \tau_\theta$ wynikające ze splotu procesów radialnych i transwersalnych.

7. Współczynnik zestrojenia orbitalnego $tg \psi$ – znaczenie (WZO).

Zrozumienie architektury makroskopowych układów powiązanych grawitacyjnie stanowi wciąż wyzwanie dla mechaniki nieba. Klasyczne podejście n -ciałowe oparte na równaniach różniczkowych OTW wylicza precyzyjnie pozycje orbit, nie dostarczając jednak pełnej odpowiedzi na pytanie: dlaczego planety ustawiają się w określonych odległościach od ciała centralnego tworząc rezonanse orbitalne. Historyczne próby wyjaśnienia tego zjawiska (np. reguła Titiusa-Bodego) cierpiały na brak podłoża fizycznego. Formalizm *zespolonego pędu* wyprowadza pozycje orbitalne ciał niebieskich z zasad zachowania energii oraz falowego dynamizmu w fazowej czasoprzestrzeni. Wyjaśnia, że stabilne korytarze orbitalne nie wynikają z równowagi siły odśrodkowej i ciężenia, lecz powstają w miejscach, gdzie stosunek mocy reaktywnej do aktywnej $tg \psi = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = \frac{0}{0}$, dąży do nieoznaczoności tworząc niewidoczną fraktalną siatkę takich miejsc w przestrzeni. W tych matematycznych osobliwościach jako węzłach stojącej *fali grawitodynamicznej* tworzą się miejsca energetycznej „ciszy radialnej” a ortogonalny przepływ mocy w operatorze Coriolisa (i Eulera) na ułamek sekundy ustaje. Miejsca te to perycentrum i apocentrum, które posiada każda rzeczywista orbita eliptyczna i jedynie w tych punktach na ciało orbitujące chwilowo nie działa żadna siła. W następstwie tego energia ruchu krótkotrwale jest uwięziona wyłącznie w kanale reaktywnym Ω_R a prędkość transwersalna i tangencjalna stają się tożsame. Metoda ta traktuje również punkty *latus rectum* jako *strzałki fali grawitodynamicznej*, gdzie indukowane przyspieszenia (siły) drgań radialnych są maksymalne a sprzężenie Coriolisa przenosi największą moc między ortogonalnymi kanałami Ω_A i Ω_R co wynika z równania [4]. Wprowadzenie trójkąta falowego mocy orbitalnej wg. Rys.4.1 pozwala zdefiniować kryteria stabilności dynamicznej układu.

Kluczowym parametrem diagnostycznym jest okresowa funkcja fazowa czasoprzestrzeni $tg \psi(t)$, określająca stosunek składowych mocy ΣQ_{or} operujących w kanale Ω_R do składowych mocy ΣP_{or} kanału Ω_A , której nadano nazwę *współczynnika zestrojenia orbitalnego* (WZO) wzór [6].

Aby wyjaśnić rolę WZO w falowym mechanizmie energetycznym rozpoczniemy od wyprowadzenia zależności:

$$\begin{aligned} tg \psi &= \frac{Im: \Sigma Q_{or}}{Re: \Sigma P_{or}} = \frac{Im: \Sigma X_{\theta}}{Re: \Sigma X_r} = \frac{m(\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3 r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r}) + 2m\dot{r}^2\dot{\theta}}{m(\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta}) - 2m\dot{r}r\dot{\theta}^2} = \\ &= \frac{\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3 r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + 2\dot{r}^2\dot{\theta}}{\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - 2\dot{r}r\dot{\theta}^2} \quad [6] \end{aligned}$$

Po uporządkowaniu składników równania [6] w liczniku i mianowniku otrzymujemy:

$$tg \psi = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = \frac{(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)r\dot{\theta} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\dot{r}}{(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\dot{r} - (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})r\dot{\theta}} = \frac{a_r v_{\theta} + a_{\theta} v_r}{a_r v_r - a_{\theta} v_{\theta}}$$

Jak widać masa uległa uproszczeniu co oznacza, że współczynnik ten zależy wyłącznie od przyspieszeń i prędkości w czasoprzestrzeni. Ponieważ trajektoria ruchu jest zamkniętym cyklem przestrzennym, funkcja $tg \psi$ musi być traktowana jako okresowy twór geometryczny sterowany fazą obrotu θ , czyli $tg \psi(\theta) = tg \psi(n\theta + \pi)$, gdzie $n = 1, 2, 3 \dots$

Analiza matematyczna zachowania tej funkcji w stanach stacjonarnych ujawnia istnienie trzech stanów szczególnych, determinowanych przez asymptoty i punkty charakterystyczne funkcji $tg \psi$ tj:

- 1) $tg \psi(n\theta + \pi) = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = \frac{0}{0}$
- 2) $tg \psi(n\theta + \pi) = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = \pm 1$
- 3) $tg \psi(n\theta + \pi) = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = 0$

Ad.1) $tg \psi \rightarrow \infty$, nieoznaczoność

- punkty węzłowe perycentrum i apocentrum gdy $\dot{r} = 0$ i $\ddot{\theta} = 0$
- idealna orbita kołowa, gdy $\dot{r} = 0$, $\ddot{r} = 0$, $\ddot{\theta} = 0$, $\dot{\theta} \neq 0$ – wówczas obie części licznik i mianownik przyjmują wartości zerowe a wartość graniczna staje się nieoznaczona.

W tych punktach, gdy moc $\Sigma P_{or} \rightarrow 0$ i $\Sigma Q_{or} \rightarrow 0$ cała energia chwilowa zostaje uwięziona w kanale reaktywnym $\Sigma \Omega_R$.

Ad.2) $tg \psi = \pm 1$, zachodzi, gdy wartość bezwzględna licznika równa się wartości bezwzględnej mianownika, czyli:

$$|\Sigma Q_{or}| = |\Sigma P_{or}|$$

$$|(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\dot{r} + (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)r\dot{\theta}| = |(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\dot{r} - (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})r\dot{\theta}|$$

Kąt fazowy ψ dąży do wartości $\frac{\pi}{4}$ lub $\frac{3\pi}{4}$. Następuje wówczas graniczne zestrojenie kanałów wyznaczające naturalne stabilne korytarze orbitalne.

Ad.3) $tg \psi = 0$, zachodzi, gdy licznik dąży do zera $\Sigma Q_{or} \rightarrow 0$ przy niezerowym mianowniku $\Sigma P_{or} \neq 0$:

$$(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\dot{r} + (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)r\dot{\theta} = 0$$

$$(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\dot{r} - (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})r\dot{\theta} \neq 0$$

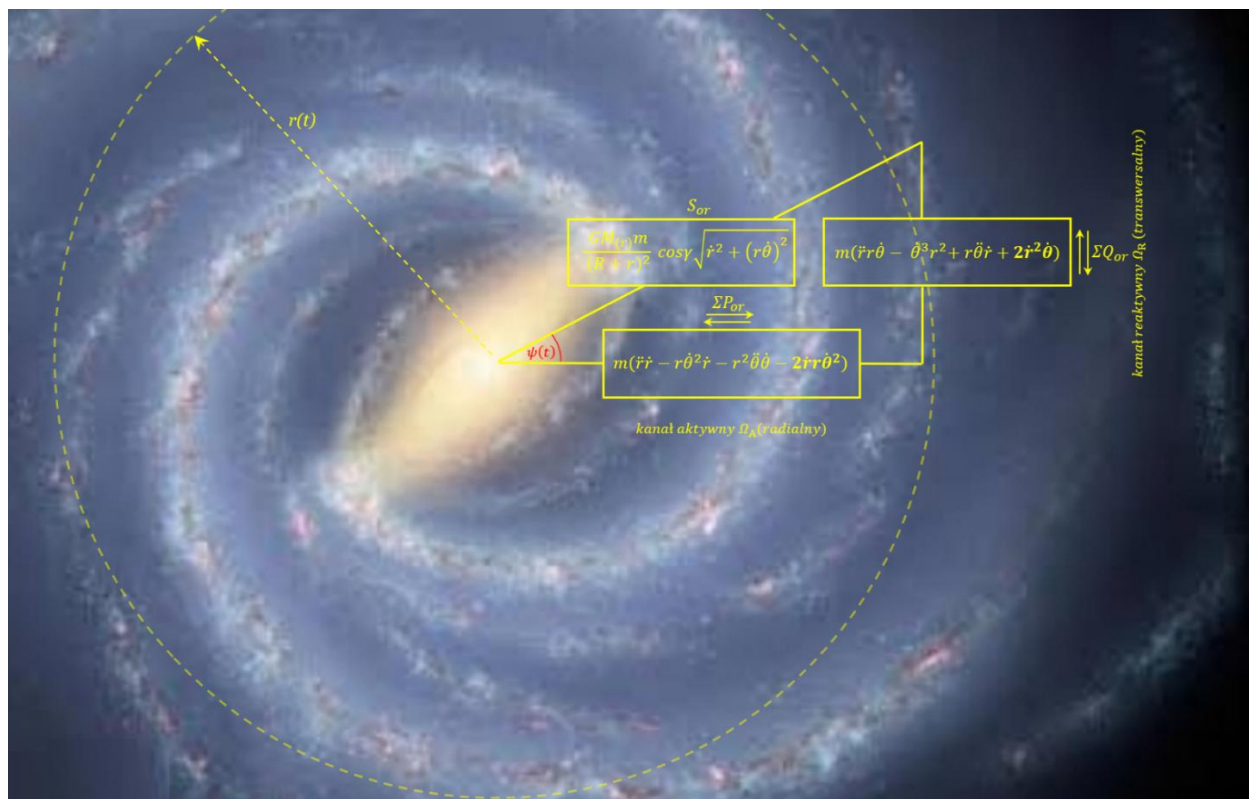
Wówczas chwilowa moc wypadkowa jest czysto aktywna a punkty te odpowiadają *latus rectum* – strzałkom *fali grawitodynamicznej*. Dla promieni odpowiadających tym miejscom ciało orbitujące jest usuwane/wypychane na wyższe orbity. Przyspieszenia radialne osiągają maksima, a sprzężenie Coriolisa przenosi największą moc między ortogonalnymi kanałami, mimo że wartość ΣQ_{or} zanika.

Te trzy charakterystyczne wartości WZO i ich matematyczne wielokrotności tworzą fraktalną siatkę pozycji orbitalnych wynikającą z relacji zachodzącej wewnątrz mocy S_{or} .

8. Problem metody pomiaru krzywych rotacji galaktyk.

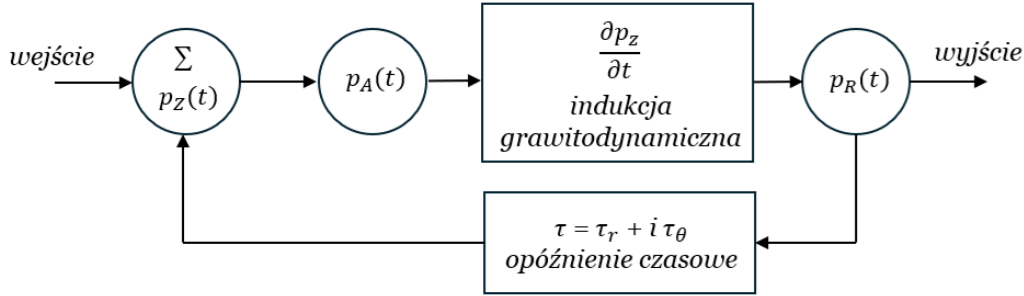
Dynamika orbitalna układów grawitacyjnych jest z natury procesem falowym i dwukanałowym a moc radialna i transversalna pozostają w relacji silnie asymetrycznego sprzężenia. Może to znaczyć, że w takich warunkach dla układów galaktycznych brane pod uwagę jedynie statyczne prawo Newtona oraz uśrednianie w analizach prędkości orbitalnych dla koncentrycznych promieni r nie opisują prawidłowo rzeczywistej struktury oddziaływań. Klasyczna metoda pomiarowa (statyczna) wydaje się nieadekwatna do charakteru zachodzącego zjawiska (dynamicznego i fazowego). Falowy charakter ruchu oraz nieliniowe sprzężenia - w szczególności wynikające z operatorów Coriolisa i Eulera - prowadzą do trwałych modyfikacji krzywych rotacji. Modele newtonowskie oparte na paradygmacie statycznym i wyłącznie radialnym prowadzić mogą do niewłaściwych wniosków wymuszając wprowadzanie hipotetycznych

komponentów, takich jak ciemna materia. Poprzez analogię do teorii obwodów elektrycznych przypomina to próbę pomiaru parametrów prądu przemiennego miernikiem służącym do pomiaru prądu stałego. Formalizm ten akcentuje, że obserwacja radialna nie wykazuje wszystkich zależności zachodzących w galaktykach. Obecny klasyczny formalizm pracuje na migawkach obiektów, które w skali czasu pomiarowego praktycznie stoją w miejscu fazowo, a mimo to pomiar ten jest uśredniany i traktowany jak pełny cykl.



8.1. Mechanizm skumulowanego opóźnienia fazowego

Istota powstawania mechanicznej mocy biernej Q_{or} na orbicie eliptycznej leży w nieliniowym sprzężeniu geometrii toru ruchu z ograniczoną prędkością c rozchodzenia się oddziaływań grawitacyjnych w przestrzeni. Zjawisko to odpowiedzialne za generację reaktywnej energii Ω_R (*oscylacyjnej energii sprężystości ciał związanych grawitacyjnie*) czyni pojedynczą orbitę eliptyczną *układem nadążnym*, który prowadzi do nieustannego różniczkowania pędu zespolonego p_z , skąd wywodzi się równanie falowe [2]. Zostało to zobrazowane na Rys.8.1.



Rys.8.1 Grawitodynamiczny mechanizm fazowy

Proces przebiega w trzech następujących etapach:

- etap1 - dynamiczne rzutowanie siły - w ruchu po elipsie wg. Rys.3.1 radialny wektor siły sprężystości grawitacji F_{grav} skierowany do barycentrum nie pokrywa się z chwilowym kierunkiem ruchu ciała. Wektor ten podlega ciągłemu, płynnemu rzutowaniu na oś styczną (tangencjalną) do toru pod zmieniającym się geometrycznym kątem nachylenia orbity $\gamma(t)$. To rzutowanie (ciągłe różniczkowanie) generuje ewoluującą w czasie źródłową siłę dynamiczną:

$$F_z = F_{grav} \cos\gamma(t) = \frac{GM_{(r)}m}{(R+r)^2} \cos\gamma(t)$$

- etap2 – wpływ limitu prędkości dla przepływu informacji - pole grawitacyjne nie działa natychmiastowo a informacja o zmianie odległości $(R+r)$ i geometrii orbity rozchodzi się w czasoprzestrzeni ze skończoną prędkością światła c . Wywołuje to mierzalny i niezerowy wypadkowy czas relaksacji (opóźnienie czasowe $\tau_z = \tau_r + i \tau_\theta$) pomiędzy geometryczną zmianą położenia źródła a fizyczną odpowiedzią siły F_z okrążających się nawzajem ciał względem barycentrum. Zarówno czas relaksacji radialnej τ_r jak i czas relaksacji transwersalnej τ_θ parametryzują dwa niezależne zjawiska nachodzące na siebie nawzajem - będzie to rozwinięte w dalszej części opracowania.
- etap 3 - generowanie przesunięcia fazowego ψ – z uwagi na niezerową wartość parametru τ_z chwilowy wektor siły F_z i chwilowy wektor prędkości v_z ciała, mimo, że leżą na tej samej osi w przestrzeni to jednak względem siebie rozsuwają się w czasie t . Podczas kontrakcji prędkość v_z jest wyprzedzana fazowo w czasie przez źródłową siłę F_z a w ekspansji dzieje się to na odwrót. Geometrycznie w tym dynamicznym układzie nadążnym manifestuje się to jako wypadkowy kąt φ sił w przestrzeni wg. Rys.2, Rys.3.1. Konsekwencją przesunięcia w przestrzeni wewnątrz struktury pędu zespolonego $p_z = mv_z$ jest rozkład geometryczny sił na składniki:

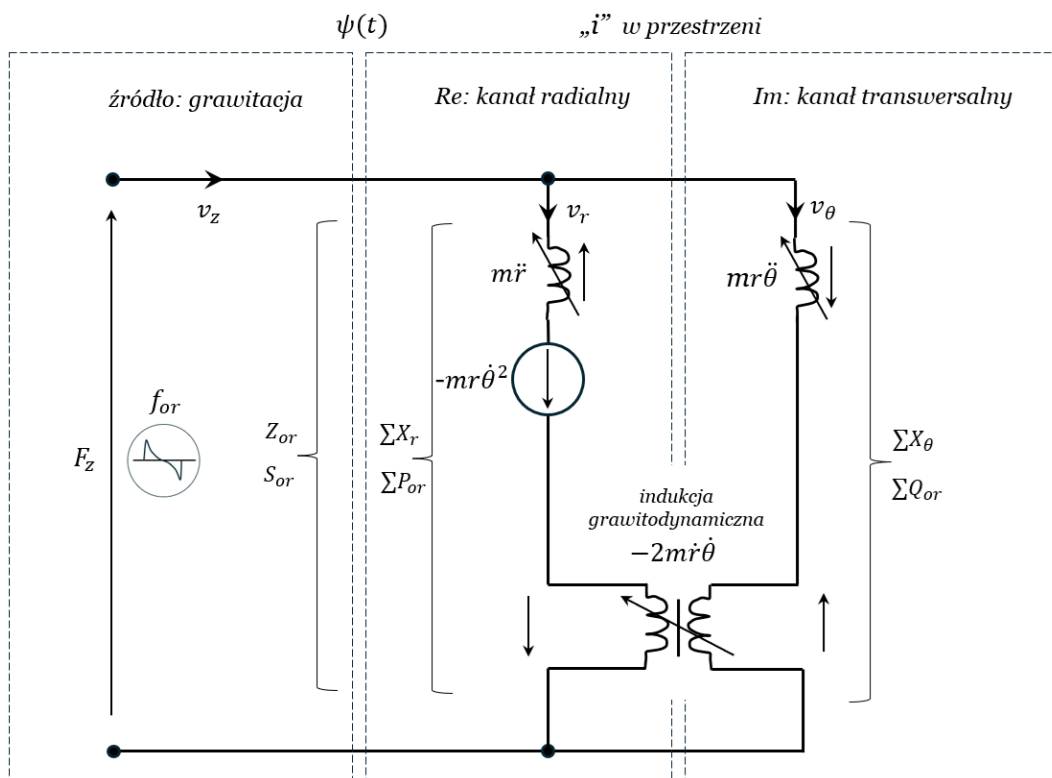
$$F_z = \sum F_r + i \sum F_\theta$$

oraz co najistotniejsze - powstanie przesunięcia fazowego ψ w czasie widocznego na Rys.4.1 oraz Rys.4.2. Skutkuje to rozbićciem całkowitej mocy orbitalnej S_{or} na składowe $\sum P_{or}$ i $\sum Q_{or}$ (jak dzieje się to w reaktancyjnym układzie elektrycznym - odpowiednik przesunięcia fazowego U/I w obwodach AC). Pole *grawitodynamiczne* (niejednostajny ruch radialno-transwersalny jako orbitalny odpowiednik pola elektromagnetycznego) w warunkach zmiany geometrii wywołuje kaskadę indukcji powodując pulsację mocy orbitalnej S_{or} z podwojoną częstotliwością $2f_{or}$ - *indukcja grawitodynamiczna* opisana rozdziale 2 oraz 3. Wyindukowane siły bezwładności i sprężystości w reprodukują tętnienia mocy chwilowej strukturze układu według równania [5] - odpowiednik zjawiska magnetostrykcji w elektrodynamice charakteryzującego się zdwojoną częstotliwością pulsacji w ośrodku.

Część mocy odkładanej na $\sum X_r$ ulega transformacji na pracę wzdłuż promienia jako $\sum P_{or}$, natomiast przesunięta w fazie ψ moc $\sum Q_{or}$ odkładana na $\sum X_\theta$ jest ustawicznie więziona (całkowana w czasie) w kanale transwersalnym jako energia $\sum \Omega_R$. Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej (reprezentowaną przez zespolony pęd jako miarę ilości ruchu), układ nadążnie kompensuje powstałe przesunięcie fazowe. Aby utrzymać stabilność orbity, wykazuje on reakcję indukcyjną w postaci inicjujących sił bezwładności, których dynamizm 2D opisuje wyprowadzone równanie falowe [3]:

$$F_z = \sum F_r + i \sum F_\theta = m (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + i m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})$$

Rozpatrywany układ grawitacyjny wg. Rys.3.1 możemy zastąpić schematem ideowym widocznym na Rys.8.2 jako połączenie równoległe dwóch reaktancyjnych gałęzi $\sum X_r, \sum X_\theta$ o wzajemnym przesunięciu w przestrzeni o kąt $\frac{\pi}{2}$.



v_z	v_r	v_θ
p_z	p_r	p_θ
Z_{or}	ΣX_r	ΣX_θ
S_{or}	ΣP_{or}	ΣQ_{or}
S_{or}	$ S_{or} = \sqrt{P_{or}^2 + Q_{or}^2} = \sqrt{(\int_A^C X_r v_r^2 dt)^2 + (\int_A^C X_\theta v_\theta^2 dt)^2}$	
$\Omega_{or} = \int_A^C S_{or} dt$	$\Omega_A = \int_A^C \Sigma P_{or} dt$	$\Omega_R = \int_A^C \Sigma Q_{or} dt$
$\Omega_{or} = \frac{GM(r)m}{(R+r)^2} \cos \gamma v_z$	$ \Omega_{or} = \sqrt{\Omega_A^2 + \Omega_R^2} = \sqrt{(\int_A^C \Sigma P_{or} dt)^2 + (\int_A^C \Sigma Q_{or} dt)^2}$	

Rys.8.2. Schemat ideowy dla orbity eliptycznej – reprezentacja równania falowego [3].

Wnioski płynące z formalizmu zespolonego pędu sugerują uzupełnienie sztywnego równania pola Einsteina $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$ po stronie geometrii $G_{\mu\nu}$ o zjawiska opóźniające wynikające z kumulacji *reaktywnej energii sprężystości* Ω_R indukowanej lokalnymi rotacjami w objętości czasoprzestrzeni. Wynika to wprost z dynamicznego przesunięcia fazowego $tg\psi = \frac{\Sigma Q_{or}}{\Sigma P_{or}} = \frac{\Sigma X_\theta}{\Sigma X_r}$ obserwowanego na przykładzie pojedynczej orbity. W związku z tym filozoficzna wypowiedź Archibalda Wheelera mogłaby zostać zmodyfikowana: *”materia mówi czasoprzestrzeni jak ma się zakrzywiać (indukcja grawitodynamiczna) a czasoprzestrzeń odpowiada materii echem jak ma się poruszać (opóźnienie fazowe τ_z)”*.

Opis powyższy dotyczy pojedynczej orbity. Galaktyka jest obiektem rozłożonym w czasoprzestrzeni a zjawisko przesunięcia fazowego ma charakter kumulacyjny (wielokrotne zapętlenie układu różniczkującego z pętlą sprzężenia zwrotnego z opóźnieniem). Suma efektów fazowych całego obiektu skutkuje gromadzeniem energii reaktywnej (*energii mechanicznej sprężystości*) niewidocznej dla instrumentów badawczych. Scałkowanie półokresowe mocy cząstkowych poszczególnych orbit oddaje obraz energii uwięzionej w geometrii galaktyki. Jako indukcyjny obiekt mechaniczny dzięki rotacji różnicowej oraz procesowi opisanemu równaniem [4] wraz z upływem czasu gromadzi w odkształcanych ramionach energię sprężystości skrętnej. Galaktyka w myśl proponowanego formalizmu jest układem strukturalnym spiętrzającym uporządkowaną energię ruchu poprzez zamianę miejscami pędu aktywnego i reaktywnego. Dzięki obrotowi o kąt $\frac{\pi}{2}$ wektora pędu zespolonego:

$$\frac{d}{dt} \vec{p}_z = \left(\frac{dp_z}{dt} + i \omega p_z \right)$$

zjawisko kumulacji w czasie powoduje gromadzenie energii w torsji. Grawitacyjna więź między ciałami zachowuje się jak nieliniowe elastyczne medium, które pomiędzy obiektami zgromadzonymi w wygiętych ramionach galaktyki działa jak magazyn energii sprężystości skrętnej.

9. Kategoryzacja energii orbitalnych.

Zrozumienie procesów wielkoskalowych (kosmologicznych) wynikać może z wcześniejszego poznania zjawisk na zachodzących w mniejszej skali. Transfer mocy w układzie dwuwymiarowym 2D stanowi naturalne wprowadzenie do analizy trójwymiarowej 4D (1 kanał radialny + 3 kanały transwersalne). Pełny, sferyczny opis przepływu energii wykracza poza możliwości pędu zespolonego i wymaga użycia formalizmu kwaternionowego co stanowi zapowiedź kontynuacji niniejszej pracy.

Analiza mocy orbitalnej podkreśla pulsacyjny i okresowy charakter zjawisk, dlatego wartość średnia mocy S_{or} za cały okres orbitalny T_{or} wynosi zero. Z tego względu wyznaczenie składowych energii orbitalnej Ω_{or} wymaga przejścia do analizy półokresowej i dla orbity eliptycznej polega na scałkowaniu mocy orbitalnych za pół okresu. Całka ta reprezentuje całkowitą energię *naprężenia strukturalnego* układu grawitacyjnego gromadzoną w pierwszym półokresie, która następnie jest zwracana w półokresie drugim:

$$\Omega_{or} = \int_A^C \Sigma S_{or} dt$$

$$\Omega_{or} = \int_A^C \Sigma P_{or} dt + i \int_A^C \Sigma Q_{or} dt \quad [7]$$

Energię całkowitą wyrazimy jako:

$$\Omega_{or} = \Sigma \Omega_A + i \Sigma \Omega_R$$

Zatem:

$$\Omega_{or} = m \int_A^C (\ddot{r}\dot{r} - r\dot{\theta}^2\dot{r} - r^2\ddot{\theta}\dot{\theta} - \mathbf{2}\dot{r}\dot{r}\dot{\theta}^2) dt + i m \int_A^C (\ddot{r}r\dot{\theta} - \dot{\theta}^3 r^2 + r\ddot{\theta}\dot{r} + \mathbf{2}\dot{r}^2\dot{\theta}) dt$$

Rozwijając wyrażenia pod całkami otrzymujemy rozbiecie na składowe części energii:

$$\Omega_A = m \int_A^C \ddot{r} \dot{r} dt - m \int_A^C r \dot{\theta}^2 \dot{r} dt - m \int_A^C r^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} dt - \mathbf{2m} \int_A^C \dot{r} \dot{r} \dot{\theta}^2 dt$$

$$\Omega_R = m \int_A^C \ddot{r} r \dot{\theta} dt - m \int_A^C \dot{\theta}^3 r^2 dt + m \int_A^C r \ddot{\theta} \dot{r} dt + \mathbf{2m} \int_A^C \dot{r}^2 \dot{\theta} dt$$

Wnioskiem płynącym z powyższego rozszczepienia dla skali kosmologicznej jest zweryfikowanie metody radialnego rzutowania obserwacyjnego. Klasyczna astrofizyka jest przywiązana do technik pomiarowych operujących wzdłuż linii wzroku (percepcja radialna). W efekcie modele kosmologiczne, próbując wyjaśnić anomalie przyspieszonej ekspansji przestrzeni, poszukują egzotycznych nośników energii (ujemnego ciśnienia/ciemnej energii) wyłącznie w osi rzeczywistej Re. Tymczasem bilans geometryczny półokresowy na płaszczyźnie zespolonej dowodzi, że wartość skuteczna (moduł) całkowitej energii strukturalnej układu nie jest addytywną operacją skalarną, lecz normą euklidesową zobrazowaną na Rys.8.2:

$$|\Omega_{or}| = \sqrt{(\int_A^C \Sigma P_{or} dt)^2 + (\int_A^C \Sigma Q_{or} dt)^2} = \sqrt{\Sigma \Omega_A^2 + \Sigma \Omega_R^2}$$

Z nadrzędności geometrycznych wynika, że norma całkowitej energii $|\Omega_{or}|$ jest niezmiennie większa od jej radialnego rzutu rzeczywistego Ω_A . Nieuwzględnienie przesunięcia fazowego ψ i powiązanego z nim urojonego kanału energii reaktywnej Ω_R generuje w klasycznych modelach niewytłumaczalny deficyt energetyczny. Deficyt ten interpretowany jako brakująca „ciemna masa/energia”, w świetle proponowanej teorii może być konsekwencją pomijania zjawiska *indukcji grawitodynamicznej*, która wiąże w strukturze i przenosi ortogonalnie *energie sprężystości skrętnej i wzdłużnej*. Zatem obraz radialny jakiego należy oczekiwać w kalkulacjach energetycznych dla przykładowego satelity podyktowany tym faktem to:

$$\Omega_A = \Omega_{or} \cos\psi$$

W fizyce klasycznej energia kinetyczna jest skalarą. Pęd z kolei jest trójwymiarową wielkością wektorową. Klasyczny skalarny bilans energii ciała na orbicie zapisywany jako:

$$E_p(t) + E_k(t) = const.$$

jest prawidłowy i użyteczny jako pewien skrót myślowy, jednak konsekwencje tego zapisu rodzą niedogodności interpretacyjne, gdyż sumują energie nieaddytywne zarówno fazowo jak i geometrycznie. Formalizm pędu zespolonego podkreśla, że E_k jako skalar ulega rozpadowi na oddzielne magazyny energii kinetycznej:

$$E_k \propto E_{k\ radialna} \perp E_{k\ transersalna}$$

Dlatego dla ciała o masie m na orbicie zachodzi klasyczny związek chwilowy:

$$\begin{aligned} E_p(t) + E_k(t) &= E_p(t) + m \frac{v_{or}^2}{2} = -m \frac{GM(r)}{R+r} + m \frac{(\sqrt{v_r^2 + v_\theta^2})^2}{2} = \\ &= -m \frac{GM(r)}{R+r} + m \left(\frac{v_r^2}{2} + \frac{v_\theta^2}{2} \right) = const. \end{aligned}$$

W teorii elektrotechniki chwilowa moc czynna P i bierna Q oraz wynikające z nich energie nie są sumowane skalarnie właśnie z uwagi na nieaddytywność tych dwóch ortogonalnych wielkości. W mechanice zapis:

$$E_k(t) = \underbrace{m \frac{v_r^2}{2}}_{Re: \sum \Omega_A(t)} + \underbrace{m \frac{v_\theta^2}{2}}_{Im: \sum \Omega_R(t)}$$

nie zawiera informacji o przesunięciu fazowym w warunkach zmiany geometrii. Dla orbity energia ruchu kinetycznego jest kumulowana w oddzielnych kanałach energetycznych zatem w czasoprzestrzeni zapis ten ma sens jedynie przy całkowaniu półokresowym (nie uśrednionym) i oferowany formalizm uwzględniając przesunięcie fazowe proponuje wyrazić to następująco:

$$E_p(t) + \sqrt{\sum \Omega_A(t)^2 + \sum \Omega_R(t)^2} = \text{const.}$$

9.1 Algebraiczne źródło pochodzenia operatora Coriolisa vs. redukcja informacji fazowej.

Klasyczna mechanika przekształcając prędkość zespoloną:

$$v_z = v_r + i v_\theta$$

w skalarną energię kinetyczną stosuje operację kwadratu modułu jako wartości bezwzględnej:

$$|v_z|^2 = v_r^2 + v_\theta^2$$

Ten matematyczny zabieg zeruje jednak sztucznie część urojoną, izoluje kanały energetyczne i ztraca informację o obecności fazy w stanie nieustalonym. Myśląc o pędzie zespolonym:

$$p_z = m(v_r + i v_\theta)$$

pełną topologię procesu odsłania dopiero znane matematyczne równanie:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

ale zastosowane dla liczb zespolonych z uwzględnieniem mnożenia przez $i^2 = -1$

$$p_z^2 = m(v_r + i v_\theta)^2 = m^2(v_r^2 - v_\theta^2) + i 2m^2 v_r v_\theta$$

Algebraiczny rozpad tego równania ujawnia niezauważaną dotychczas przyczynowość:

- *Re*: $m(v_r^2 - v_\theta^2)$ - jako różnica kwadratów prędkości kanałowych odzwierciedlająca dynamiczną opozycję między dywergencją a rotacją
- *Im*: $+ i 2m^2 v_r v_\theta$ – jako krzyżowy spłot prędkości ortogonalnych. To z tego urojonego składnika drogą różniczkowania pędu p_z naturalnie wyłania się współczynnik "2" operatora sprzężenia Coriolisa ($2\dot{r}\dot{\theta}$)

Wykazanie tego związku redefiniuje efekt Coriolisa i zdejmuję z niego miano siły pozornej. Staje się on fizyczną odpowiedzią układu nadążnego zachowującego energię poprzez sprzężenie fazowe ortogonalne.

9.2 Dywergencja i rotacja w czasoprzestrzeni fazowej.

Przejście od analizy pojedynczego satelity do opisu galaktyki wymaga przetłumaczenia mechanizmu TZPFC na język teorii pola przy użyciu operacji dywergencji ($\nabla \cdot$) oraz rotacji ($\nabla \times$). W tym ujęciu, zespolony pęd:

$$p_z = p_A + ip_R$$

ujawnia swoją głębszą strukturę topologiczną. Klasyczny, czysto radialny obraz obserwacyjny skupia się wyłącznie na dywergencji kanału aktywnego:

$$\nabla \cdot p \propto -\frac{dp}{dt}$$

Mierzy ona jawną ekspansję wzdłuż osi rzeczywistej *Re* instrumentów obserwacyjnych. Jednak z uwagi na niezerowy, zespolony czas relaksacji $\tau_z = \tau_r + i \tau_\theta$, proces odbioru informacji o zjawisku nie zachodzi natychmiastowo. Każda lokalna zmiana geometrii (dywergencja pędu aktywnego) indukuje opóźnioną w fazie odpowiedź wirową w kanale reaktywnym. Ponieważ pole reaktywne jest bezźródłowe:

$$\nabla \cdot p_R = 0$$

to energia z nim związana krąży w przestrzeni w postaci zamkniętych zawirowań - jest pożyczana i oddawana w strukturach poprzez indukcję. Jeśli instrumenty badawcze uparcie mierzą wyłącznie radialną dywergencję $\nabla \cdot p_A$, to z perspektywy normy euklidesowej pędu zespolonego, gdy:

$$|\nabla p_z| = \sqrt{(\nabla \cdot p_A)^2 + (\nabla \times p_R)^2}$$

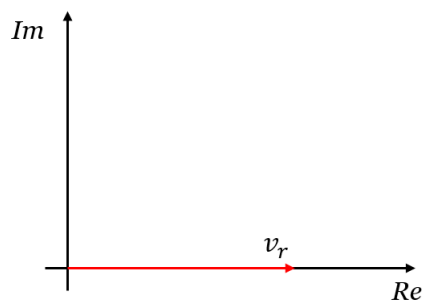
$$p_A = |p_z| \cos \varphi$$

pomijanie indukcyjnego wkładu rotacji kanału *Im* skutkuje implementacją nieznaną formy energii (ciemnej) rozpychającej wszechświat. Energia ta w istocie istnieje, ale pod postacią *energii sprężystości strukturalnej* kumulowanej indukcyjnie w strukturach wielkoskalowych za sprawą sprzężenia Coriolisa - czego instrumenty badawcze nie rejestrują. Oznaczałoby to również, że bezwładność (translacyjna i rotacyjna) masy *m* jest „narzędziem w rękach grawitacji” dla gromadzenia *energii potencjalnej sprężystości* (liniowej i skrętnej).

CDN...

10. Interpretacja geometryczna zespolonego pędu w makroskali.

Rys.10 poniżej przedstawia interpretację wariantów pędu na płaszczyźnie zespolonej:

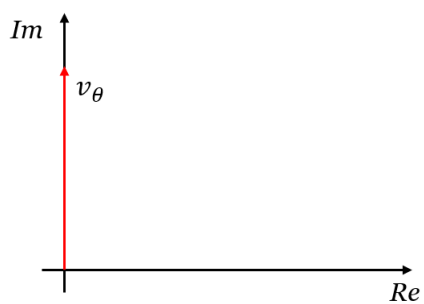
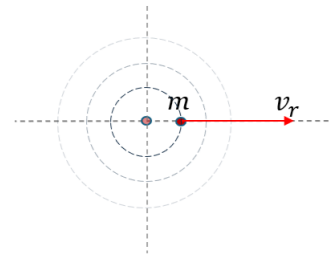


*pęd **aktywny** (czysto translacyjny)*

$$p_z = p_A + i0$$

$$v_z = v_r + i0$$

$$v = \sqrt{v_r^2 + 0^2}$$

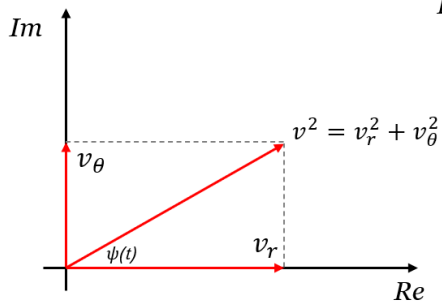
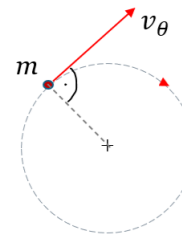


*pęd **reaktywny** (czysto rotacyjny)*

$$p_z = 0 + ip_R$$

$$v_z = 0 + iv_\theta$$

$$v = \sqrt{0^2 + v_\theta^2}$$

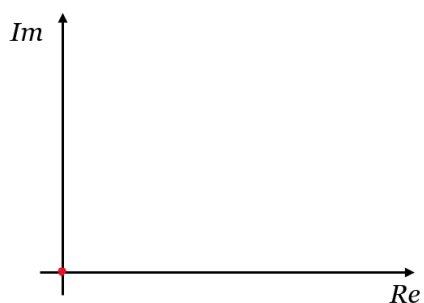
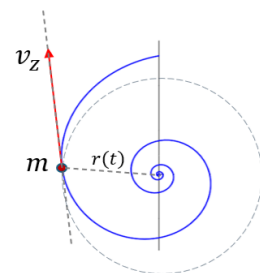


*pęd **zespólny** (łuk, spirala, elipsa)*

$$p_z = p_A + i p_R$$

$$v_z = v_r + iv_\theta$$

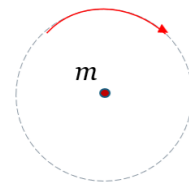
$$v = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}$$



***spin** (obróć masy wokół własnej osi)*

$$p_z = 0 + im$$

$$v_z = 0 + i$$



12. Notacja

- Ω_A - energia aktywna (związana z pędem translacyjnym)
- Ω_R - energia reaktywna (związana z pędem rotacyjnym)
- Ω_{or} - energia całkowita (wypadkowy ruch kinetyczny)
- r - promień orbity
- R - promień Ziemi
- m - masa satelity
- M - masa Ziemi
- v_r - prędkość radialna (kanał aktywny)
- G - stała grawitacyjna
- E_p - energia potencjalna (notacja konwencjonalna)
- E_k - energia kinetyczna (oznaczenie konwencjonalne)
- E_{total} - całkowita energia (oznaczenie konwencjonalne)
- v_θ - prędkość transwersalna (kanał reaktywny)
- F_c - siła Coriolisa
- F_L - siła Lorentza
- F_{grav} - siła grawitacji
- F_{od} - siła odśrodkowa
- F_{rb} - siła bezwładności radialna
- F_z - siła zespolona
- v - prędkość tangencjalna (orbitalna, styczna do elipsy)
- l - długość łuku (odcinek orbity)
- τ_c - moment siły Coriolisa
- W_c - energia w „kanale energetycznym” Coriolisa
- p_r - pęd radialny
- L - moment pędu
- p_z - pęd zespolony
- F_{cr} - składowa radialna siły Coriolisa
- P_A - moc mechaniczna aktywna

- P_R – moc mechaniczna reaktywna
- S_{or} - moc mechaniczna wypadkowa (chwilowa)
- R_{or} – rezystancja orbitalna (kanał aktywny)
- X_{or} – reaktancja orbitalna (kanał reaktywny)
- Z_{or} – impedancja orbitalna wypadkowa
- p_A – pęd aktywny (w kanale aktywnym)
- p_R – pęd reaktywny (w kanale reaktywnym)
- T_{or} – okres obrotu satelity wokół ciała centralnego
- f_{or} – częstotliwość orbitalna (wokół ciała centralnego)
- τ_r – czas relaksacji radialny
- τ_θ – czas relaksacji transwersalny
- τ_z – czas relaksacji zespolony (wypadkowy)
- $+X_r^{(B)}$ - reaktancja radialna bezwładności (masowa/translacyjna - opisująca bezwładność liniową)
- $-X_r^{(S)}$ - reaktancja radialnej sprężystości (sztywnościowa/translacyjna - opisująca sprężystość liniową)
- $+X_\theta^{(B)}$ - reaktancja transwersalna bezwładności (masowa/rotacyjna – opisująca bezwładność obrotową)
- $-X_\theta^{(S)}$ - reaktancja transwersalna sprężystości (sztywnościowa/rotacyjna – opisująca sprężystość skrętną)
- $+P_r^{(B)}$ - moc aktywna bezwładności radialnej (masowa/translacyjna – opisująca pobór mocy przy rozpędzaniu liniowym)
- $-P_r^{(S)}$ - moc aktywna sprężystości radialnej (sztywnościowa/translacyjna – opisująca oddawanie mocy przy hamowaniu liniowym)
- $+Q_\theta^{(B)}$ - moc reaktywna bezwładności transwersalnej (masowa/rotacyjna – opisująca pobór mocy przy rozpędzaniu kątowym/torsji)
- $-Q_\theta^{(S)}$ - moc reaktywna sprężystości transwersalnej (sztywnościowa/rotacyjna – opisująca oddawanie mocy przy hamowaniu kątowym/torsji)