

# Zasada kompensacji

## Zasada kompensacji

W dowolnym (niekoniecznie liniowym) układzie<sup>a</sup> żadne napięcia ani prądy nie zmienią się, jeżeli dowolną gałąź układu, na której występuje napięcie  $u$  i przez którą płynie prąd  $i$ , zastąpimy:

- idealnym źródłem napięciowym o SEM  $e = u$ , albo
- idealnym źródłem prądowym o wydajności prądowej  $j = i$  (tzw. źródłem kompensującym).

---

<sup>a</sup>O jednoznacznych rozwiązaniach!

W szczególności prąd (napięcie) źródła  $e$  ( $j$ ) wynosi  $i$  ( $u$ ).

Wyróżnioną gałęzią może być rozwarcie lub zwarcie:

- Równolegle do gałęzi wstawiamy  $e = u \implies i_e = 0$  (węzły o jednakowym potencjale można zewrzeć).
- W szereg z gałęzią wstawiamy  $j = i \implies u_j = 0$  (gałąź, którą nie płynie prąd, można przeciąć).

# Zasada „przesuwania” („ruchliwości”) źródeł

Obowiązuje w dowolnych (niekoniecznie liniowych) układach.

## Włączanie dodatkowych źródeł napięciowych (szeregowo)

Jeżeli do wszystkich gałęzi dołączonych do danego węzła włączymy identyczne źródła napięciowe, o takim samym zwrocie względem węzła, to *prądy* w obwodzie nie zmieniają się.

Dlaczego? NPK nie zmieniają się! Można „przesunąć” źródło napięciowe z jednej gałęzi do wszystkich sąsiednich.

## Dołączanie dodatkowych źródeł prądowych (równolegle)

Jeżeli do wszystkich gałęzi tworzących drogę zamkniętą dołączymy identyczne źródła prądowe, tak samo zorientowane względem drogi, to *napięcia* w obwodzie nie zmieniają się.

Dlaczego? PPK nie zmieniają się! Można „zastąpić” źródło prądowe parą źródeł „do” i „z” węzła pośredniego.

# Zasada superpozycji

Założmy, że w układzie *liniowym* działa  $N = N_e + N_j$  idealnych źródeł niezależnych:  $N_e \geq 0$  napięciowych ( $e_1, \dots, e_{N_e}$ ) i  $N_j \geq 0$  prądowych ( $j_{N_e+1}, \dots, j_{N_e+N_j}$ ).

## Zasada superpozycji

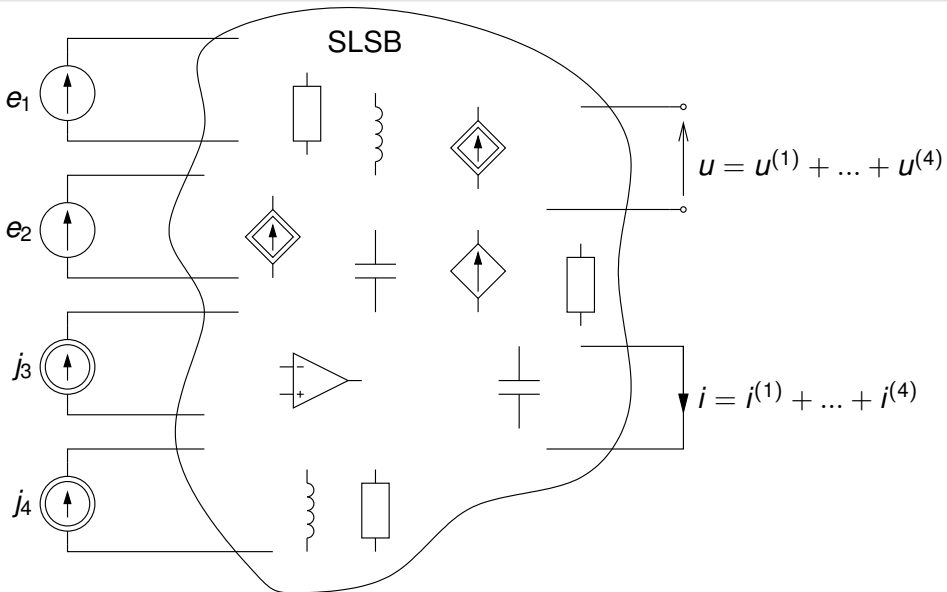
Dowolne napięcie  $u$  (dowolny prąd  $i$ ) w układzie *liniowym* (dalej oznaczane jako  $x$ ) jest sumą wkładów do tego napięcia (prądu) pochodzących od każdego źródła niezależnego z osobna, tzn. z wyłączonymi wszystkimi innymi źródłami *niezależnymi*:

- $e = 0 \rightarrow$  zwarcie,  $j = 0 \rightarrow$  rozwarcie.

$$x = \sum_{k=1}^{N_e+N_j} x^{(k)}, \text{ gdzie } x^{(k)} = x \left| \begin{array}{l} \forall n=1, \dots, k-1, k+1, \dots, N: e_n=0, j_n=0 \end{array} \right.$$

Zasada superpozycji dotyczy tylko napięć i prądów (nie mocy!).

# Zasada superpozycji – ilustracja



# Twierdzenie o źródle zastępczym (napięciowym)

## Twierdzenie Thévenina

Dowolny dwójnik<sup>a</sup> liniowy o zaciskach A-B można zastąpić połączeniem szeregowym dwóch elementów:

- źródła napięciowego idealnego o sile elektromotorycznej równej napięciu na *rozwartych* zaciskach A-B ( $e_T = U_{AB0}$ ),
- takiego samego dwójnika, ale bezźródłowego, tzn. z wyłączonymi wszystkimi źródłami *niezależnymi*:  
 $e = 0 \rightarrow$  zwarcie,  $j = 0 \rightarrow$  rozwarcie.

---

<sup>a</sup>Nie będący idealnym źródłem prądowym!

Dla dwójnika liniowego *rezystancyjnego* ten drugi element jest równoważny jego oporowi wewnętrznemu ( $R_w = R_{AB}$ ).

**Wyznaczanie  $R_w$ :** wyłączamy źródła niezależne, po czym albo „zwijamy” obwód, albo pobudzamy go „znanym” źródłem  $e_x, j_x$ .

Metoda „połówkowa”:  $R_w = R_{obc} \Big|_{U_{AB}=e_T/2}$ .

# Twierdzenie o źródle zastępczym (prądowym)

## Twierdzenie Nortona

Dowolny dwójnik<sup>a</sup> liniowy o zaciskach A-B można zastąpić połączeniem równoległym dwóch elementów:

- źródła prądowego idealnego o wydajności prądowej równej prądowi płynącemu przez *zwarte* zaciski A-B ( $j_N = i_{ABz}$ ),
- takiego samego dwójnika, ale bezźródłowego, tzn. z wyłączonymi wszystkimi źródłami *niezależnymi*:  
 $e = 0 \rightarrow$  zwarcie,  $j = 0 \rightarrow$  rozwarcie.

---

<sup>a</sup>Nie będący idealnym źródłem napięciowym!

Dla dwójnika liniowego *rezystancyjnego* ten drugi element jest równoważny jego przewodności zastępczej ( $G_w = 1/R_{AB}$ ).

Dwójnik o zaciskach A-B może być **dowolnie skomplikowany!**

Równoważność źródeł rzeczywistych:  $e_T, R_w \leftrightarrow j_N, G_w$ .

# Nieliniowe układy rezystancyjne

Twierdzenia o źródłach zastępczych dobrze nadają się do analizy obwodów zawierających *dwójnik* nieliniowy.

- Metoda prostej oporu – graficzne rozwiązywanie układu dwóch równań z dwiema niewiadomymi. Równanie źródła:

$$u = e_T - R_w i \quad \text{albo} \quad i = j_N - G_w u$$

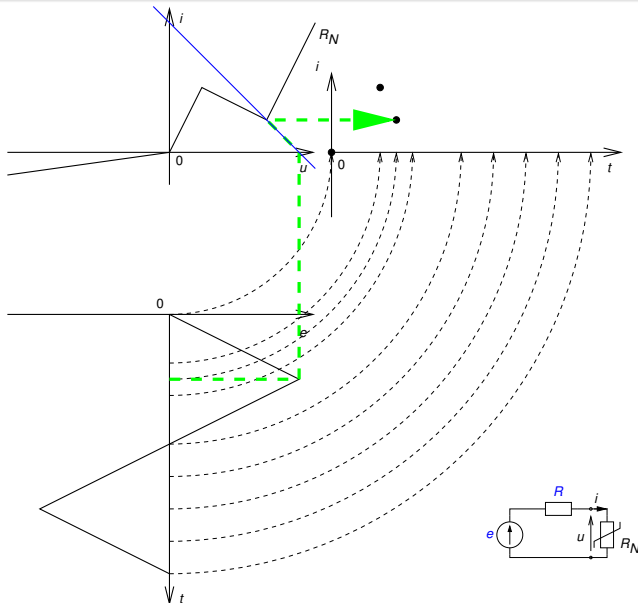
Skąd wziąć charakterystykę obciążenia? Wyznaczamy ją metodą składania charakterystyk.

- Przy połączeniu szeregowym dla danego prądu (wspólnego dla obu elementów) sumują się napięcia.
- Przy połączeniu równoległym dla danego napięcia (wspólnego dla obu elementów) sumują się prądy.

Do czego jeszcze może się przydać ch-ka obciążenia?

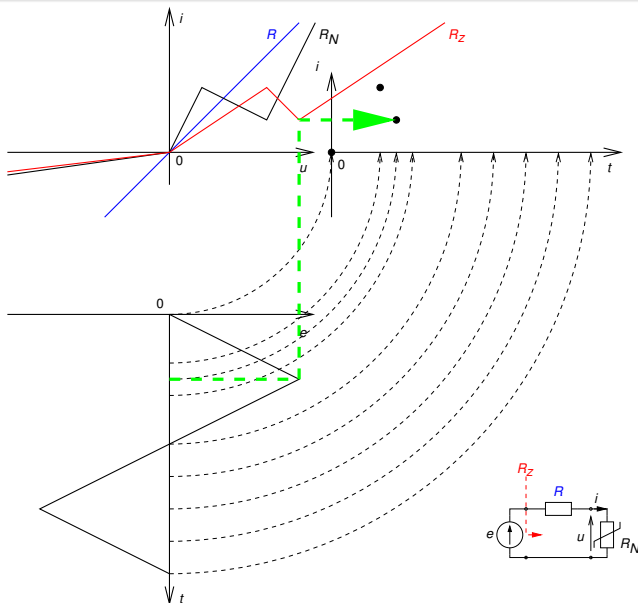
- Metoda „ruchomej” prostej oporu.
- Metoda rzutowania przebiegu przez charakterystykę (po włączeniu oporu wewnętrznego źródła do obciążenia).

## „Ruchoma” prosta oporu





# Rzutowanie przebiegu przez charakterystykę



# Co powinien wiedzieć student?

- upraszczanie obwodu – usuwanie nieistotnych elementów
- równoważność źródeł nieidealnych napięciowych i prądowych
- łączenie elementów (szeregowe i równoległe)
- równania elementów (prawo Ohma, zasada działania źródeł idealnych)
- dzielniki napięciowe i prądowe
- twierdzenia Thevenina i Nortona
- zasada superpozycji
- w razie niezbędnej konieczności: układanie równań Kirchhoffa
- składanie charakterystyk elementów nieliniowych
- graficzne wyznaczanie punktu pracy

# Co powinien wiedzieć student – większy przykład

W obwodzie nieliniowym prądu stałego panuje stan ustalony. Wyznaczyć  $I_L$ . Dane:  $E = 6V$ ,  $J = 2mA$ ,  $R = 1k\Omega$ ,  $E_0 = 1V$ , D: zw./roz.,  $L_N : \psi = aI_L^3$ ,  $a = 1Wb/(mA)^3$ ,  $C_N : q = \min(\max(\frac{Q_0}{E_0}u, -Q_0), Q_0)$ ,  $Q_0 = 2mC$ .

