

考慮 5 节点的 DC_OLS 模型

在 DC 模型里，我们把每个节点上的电压幅值都看做 1，两节点间的电压相角差很小，此时 $\sin(\theta_{ij}) = \theta_{ij}, \cos(\theta_{ij}) = 0$ ，对于每个节点只考虑有功功率平衡，每条线路都考虑双向的电流功率约束。

1.DC_OLS 模型

符号	含义	单位/维度
i, j	节点索引（母线号）	—
\mathcal{N}	指标集，全部节点	—
\mathcal{G}	指标集，发电节点	—
\mathcal{D}	指标集，需求节点	—
\mathcal{L}	指标集，所有线路（双向）	—
\mathbf{p}_G	向量，传统能源有功发电（可调整）	p.u.
\mathbf{p}_U	向量，新能源有功发电（均值）	p.u.
\mathbf{p}_D	向量，有功需求（均值）	p.u.
$\boldsymbol{\theta}$	向量，电压相角	rad
$\boldsymbol{\omega}$	向量，新能源发电波动	p.u.
\mathbf{p}_S	向量，有功需求波动	p.u.
f_{ij}	ij 线路上的潮流	p.u
$\boldsymbol{\theta}^{\max/\min}$	向量，节点相角上/下界	rad
$\mathbf{p}_G^{\max/\min}$	向量，发电有功上下界	p.u
s_{ij}^{\max}	线路最大功率容量	p.u

$$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{p}_S) = \boldsymbol{p}_{\mathbf{G}}(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{p}_S) + \boldsymbol{p}_{\mathbf{U}} - \boldsymbol{p}_{\mathbf{D}} + \boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{p}_S \quad (1\text{a})$$

$$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{\theta}) = (p_i)^T = (\sum_{j:ij \in \mathcal{L}} B_{ij}(\theta_i - \theta_j))^T \quad (2\text{a})$$

$$f_{ij}^p(\theta) = B_{ij}(\theta_i - \theta_j), \forall ij \in \mathcal{L} \quad (3\text{a})$$

$$\min_{\boldsymbol{p}_{\mathbf{G}}, \boldsymbol{p}_S} \mathbb{E}[\boldsymbol{c}^T \boldsymbol{p}_S]$$

s.t.

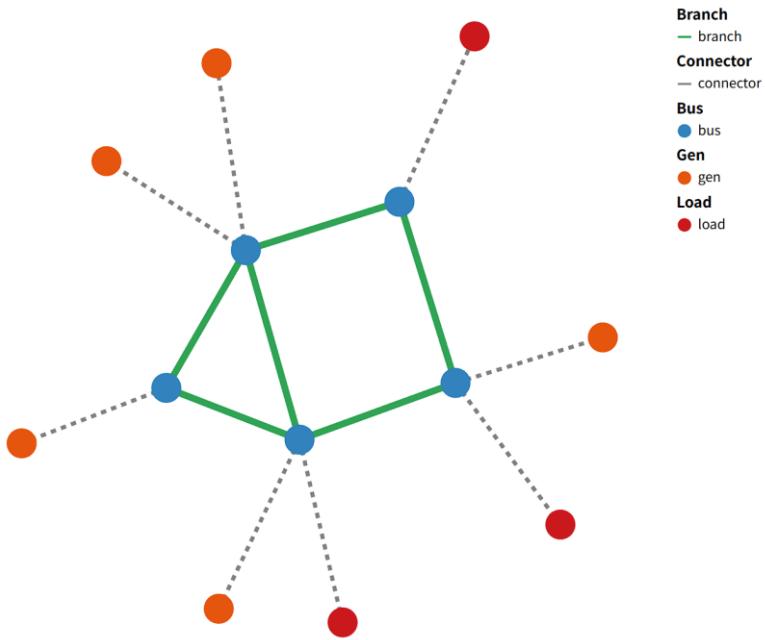
$$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{p}_S) = \boldsymbol{p}(\boldsymbol{\theta})$$

$$|f_{ij}^p(\theta)| \leq s_{ij}^{\max}$$

$$P_G^{\min} \leq \boldsymbol{p}_{\mathbf{G}}(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{p}_S) \leq \boldsymbol{p}_{\mathbf{G}}^{\max}$$

$$\boldsymbol{\theta}^{\min} \leq \boldsymbol{\theta} \leq \boldsymbol{\theta}^{\max}$$

2. 5 节点 DC_OLS 模型（带入数据）



0.1 发电机数据

表 1: 发电机数据 (标幺值)

发电机	节点	P_G (p.u.)	Q_G (p.u.)	P_G^{\min} (p.u.)	P_G^{\max} (p.u.)	Q_G^{\min} (p.u.)	Q_G^{\max} (p.u.)
1	1	0.4000	0.0000	0.0000	0.4000	-0.3000	0.3000
2	1	1.7000	0.0000	0.0000	1.7000	-1.2750	1.2750
3	3	3.2349	0.0000	0.0000	5.2000	-3.9000	3.9000
4	4	0.0000	0.0000	0.0000	2.0000	-1.5000	1.5000
5	5	4.6651	0.0000	0.0000	6.0000	-4.5000	4.5000

0.2 发电机成本函数

表 2: 发电机成本函数参数

发电机	节点	C_1 (\$/MWh)	C_0 (\$/h)	$C_{1,pu}$ (\$/p.u.h)
1	1	14.00	0.00	1400.00
2	1	15.00	0.00	1500.00
3	3	30.00	0.00	3000.00
4	4	40.00	0.00	4000.00
5	5	10.00	0.00	1000.00

0.3 支路数据

表 3: 支路参数

从节点	到节点	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	RateA (MVA)	RateA (p.u.)
1	2	0.002810	0.028100	0.007120	400	4.00
1	4	0.003040	0.030400	0.006580	0	0.00
1	5	0.000640	0.006400	0.031260	0	0.00
2	3	0.001080	0.010800	0.018520	0	0.00
3	4	0.002970	0.029700	0.006740	0	0.00
4	5	0.002970	0.029700	0.006740	240	2.40

0.4 导纳矩阵

电导矩阵 G (实部):

$$G = \begin{bmatrix} 22.2507 & -3.5235 & 0 & -3.2569 & -15.4703 \\ -3.5235 & 12.6911 & -9.1676 & 0 & 0 \\ 0 & -9.1676 & 12.5013 & -3.3337 & 0 \\ -3.2569 & 0 & -3.3337 & 9.9242 & -3.3337 \\ -15.4703 & 0 & 0 & -3.3337 & 18.8040 \end{bmatrix}$$

电纳矩阵 B (虚部):

$$B = \begin{bmatrix} -222.4844 & 35.2348 & 0 & 32.5690 & 154.7030 \\ 35.2348 & -126.8979 & 91.6758 & 0 & 0 \\ 0 & 91.6758 & -124.9999 & 33.3367 & 0 \\ 32.5690 & 0 & 33.3367 & -99.2324 & 33.3367 \\ 154.7030 & 0 & 0 & 33.3367 & -188.0206 \end{bmatrix}$$

0.5 节点类型总结

表 4: 节点类型分布

节点类型	节点编号
平衡节点 (Slack)	4
PQ 节点	2
PV 节点	1, 3, 5

0.6.1 发电机有功功率限值（标幺值）

$$\begin{aligned} p_{G,1,1}^{\min} &= 0.0000, & p_{G,1,1}^{\max} &= 0.4000 \\ p_{G,1,2}^{\min} &= 0.0000, & p_{G,1,2}^{\max} &= 1.7000 \\ p_{G,3}^{\min} &= 0.0000, & p_{G,3}^{\max} &= 5.2000 \\ p_{G,4}^{\min} &= 0.0000, & p_{G,4}^{\max} &= 2.0000 \\ p_{G,5}^{\min} &= 0.0000, & p_{G,5}^{\max} &= 6.0000 \end{aligned}$$

0.6.4 负荷数据（标幺值）

$$\begin{aligned} p_{D,2} &= 1.70, & q_{D,2} &= 1.05 \\ p_{D,3} &= 2.00, & q_{D,3} &= 1.23 \\ p_{D,4} &= 0.80, & q_{D,4} &= 0.49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_j^{\min} &= 0.9000 \leq v_j \leq 1.1000 = v_j^{\max}, & \forall j \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ \theta_j^{\min} &= -0.5236 \leq \theta_j \leq 0.5236 = \theta_j^{\max}, & \forall j \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ v_4 &= 1, \theta_4 = 0 \quad (\text{平衡节点}) \end{aligned}$$

$$\min_{\boldsymbol{p}_G,\boldsymbol{p}_S} p_{S,2} + p_{S,3} + p_{S,4}$$

s.t.

$$\begin{aligned} p_{G,1,1}(\omega, p_S) + p_{G,1,2}(\omega, p_S) + p_{U,1} - 0 + \omega_1 + p_{S,1} \\ = 35.2348(\theta_1 - \theta_2) + 32.5690(\theta_1 - \theta_4) + 154.7030(\theta_1 - \theta_5) \end{aligned}$$

$$0 + p_{U,2} - 1.70 + \omega_2 + p_{S,2} = 35.2348(\theta_2 - \theta_1) + 91.6758(\theta_2 - \theta_3)$$

$$p_{G,3}(\omega, p_S) + p_{U,3} - 2.00 + \omega_3 + p_{S,3} = 91.6758(\theta_3 - \theta_2) + 33.3367(\theta_3 - \theta_4)$$

$$p_{G,4}(\omega, p_S) + p_{U,4} - 0.80 + \omega_4 + p_{S,4} = 32.5690(\theta_4 - \theta_1) + 33.3367(\theta_4 - \theta_3) + 33.3367(\theta_4 - \theta_5)$$

$$p_{G,5}(\omega, p_S) + p_{U,5} - 0 + \omega_5 + p_{S,5} = 154.7030(\theta_5 - \theta_1) + 33.3367(\theta_5 - \theta_4)$$

$$|f_{12}^p(\theta)| = |35.2348(\theta_1 - \theta_2)| \leq 4.00$$

$$|f_{14}^p(\theta)| = |32.5690(\theta_1 - \theta_4)| \leq s_{14}^{\max}$$

$$|f_{15}^p(\theta)| = |154.7030(\theta_1 - \theta_5)| \leq s_{15}^{\max}$$

$$|f_{23}^p(\theta)| = |91.6758(\theta_2 - \theta_1)| \leq s_{23}^{\max}$$

$$|f_{34}^p(\theta)| = |33.3367(\theta_1 - \theta_2)| \leq s_{34}^{\max}$$

$$|f_{45}^p(\theta)| = |33.3367(\theta_1 - \theta_2)| \leq 2.40$$

$$0.0000 \leq p_{G,1,1}(\omega, p_S) \leq 0.4000$$

$$0.0000 \leq p_{G,1,2}(\omega, p_S) \leq 1.7000$$

$$0.0000 \leq p_{G,3}(\omega, p_S) \leq 5.2000$$

$$0.0000 \leq p_{G,4}(\omega, p_S) \leq 2.0000$$

$$0.0000 \leq p_{G,5}(\omega, p_S) \leq 6.0000$$

$$-0.5236 \leq \theta_i \leq 0.5236, \quad \forall i \in \{1,2,3,4,5\}$$